



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Maestría en Construcciones, Tercera Cohorte

**Desarrollar una propuesta de diseño para incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos en la región utilizando el método SMA (Stone Mastic Asphalt), elaborándolos en base a materiales locales**

Tesis previa a la obtención del grado de  
"MAGISTER EN CONSTRUCCIONES"

**AUTOR: PAÚL ROMEO LÓPEZ AVILÉS**  
C.I.: 0104116215

**DIRECTOR: JAIME ASDRUBAL BOJORQUE IÑEGUEZ**  
C.I.: 0102857885

ECUADOR, CUENCA 2018



## RESUMEN

Los hormigones asfálticos SMA consisten básicamente en elaborar una mezcla asfáltica con tamaño de árido grueso, alto contenido de asfalto, filler y la presencia de fibras de base celulósica, las cuales cumplen la función de incrementar la viscosidad de la fase líquida evitando la segregación de agregados por gravedad, ya sea durante el transporte de la mezcla o durante el tendido y vibrado.

Los materiales han sido seleccionados de tal forma que posean las propiedades físico-mecánicas adecuadas a la normativa internacional de SMA replicando de la forma más fiel los hormigones SMA. Los áridos y el asfalto cumplen con las especificaciones internacionales, el filler mineral disponible es el producto de procesos de trituración de piedra y para las fibras se ha utilizado el agave americano o yute, procesándolo hasta obtener tamaños y cantidades de fibra adecuadas para la elaboración de las briquetas.

De las briquetas elaboradas se escogieron las que brindaron mejores resultados dentro de los 18 grupos de muestras. La opción más adecuada consiste en la adición de fibras celulósicas de agave americano de 0.35%, contenido de asfalto de 6.57% y utilización de granulometría con tamaño nominal máximo de 19 mm. Se analizó costos de producción estimados de la mezcla SMA más recomendable y se comparó con los costos de producción de una mezcla regular.

Finalmente, se definen recomendaciones para mejorar el desarrollo de mezclas SMA en la región.

**PALABRAS CLAVE:** Stone Mastic Asphalt, celulosa, fibras, granulometría, áridos, filler, briquetas, Marshall, diseño, SMA.



## ABSTRACT

The SMA asphalt concretes basically consist of producing an asphalt mix with the size of coarse aggregate, high content of asphalt, filler and the presence of cellulose-based fibers, which fulfill the function of increasing the viscosity of the liquid phase avoiding the segregation of aggregates. by gravity, either during transport of the mixture or during laying and vibrated.

The materials have been selected in such a way that they have the physical-mechanical properties suitable to the international SMA regulations, replicating the SMA concretes in the most faithful way. The aggregates and the asphalt comply with the international specifications, the available mineral filler is the product of stone crushing processes and for the fibers the American agave or jute has been used, processing it until obtaining suitable sizes and quantities of fiber for the elaboration of the briquettes

Of the briquettes prepared, those that gave the best results within the 18 groups of samples were chosen. The most suitable option consists of the addition of 0.35% American agave cellulose fibers, 6.57% asphalt content and the use of granulometry with a maximum nominal size of 19 mm. Estimated production costs of the most recommended SMA mixture were analyzed and compared with the production costs of a regular mix.

Finally, recommendations are defined to improve the development of SMA mixtures in the region.

**KEY WORDS:** Stone Mastic Asphalt, cellulose, fibers, granulometry, aggregates, filler, briquettes, Marshall, design, SMA



## Índice de Contenidos

<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL .....</b>	<b>12</b>
<b>CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL .....</b>	<b>13</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>14</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>16</b>
<b>1. Introducción y Objetivos .....</b>	<b>16</b>
1.1. Introducción.....	16
1.2. Objetivos.....	17
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Hormigones asfálticos tipo Stone Mastic Asphalt “SMA” .....</b>	<b>18</b>
2.1. Breve reseña histórica.....	18
2.2. Ventajas y desventajas del uso de SMA.....	19
2.3. Descripción general de los componentes del SMA .....	20
2.3.1. Fibras celulósicas.....	20
2.3.2. Áridos de mezcla.....	24
2.3.3. Ligante asfáltico.....	27
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>28</b>
<b>3. Normativa internacional en la elaboración del SMA .....</b>	<b>28</b>
3.1. Normativas seleccionadas para el diseño .....	28
3.2. Características técnicas de la mezcla y sus componentes.....	28
3.3. Diseño de la mezcla asfáltica .....	30
3.3.1. Selección de la granulometría .....	30
3.3.2. Selección y ensayos en áridos a utilizar.....	34
3.3.3. Selección del ligante.....	46
3.3.4. Preparación de las fibras celulósicas.....	47
3.3.5. Selección del filler.....	50
3.4. Análisis de las muestras de hormigón asfáltico SMA .....	50
3.4.1. Introducción a los ensayos normalizados.....	50
3.4.2. Resistencia a la Deformación Plástica de Mezclas Asfálticas utilizando el método Marshall... ..	50
3.5. Procedimiento para de elaboración de muestras .....	57
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>60</b>



<b>4. Elaboración de las muestras de SMA</b>	<b>60</b>
<b>4.1. Criterios de diseño para elaboración de las muestras</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Caracterización y dimensiones de los especímenes ensayados</b>	<b>64</b>
➤ Alternativa 1	64
➤ Alternativa 2	64
➤ Alternativa 3	64
➤ Alternativa 4	64
➤ Alternativa 5	64
➤ Alternativa 6	65
➤ Alternativa 7	65
➤ Alternativa 8	65
➤ Alternativa 9	65
➤ Alternativa 10	66
➤ Alternativa 11	66
➤ Alternativa 12	66
➤ Alternativa 13	67
➤ Alternativa 14	67
➤ Alternativa 15	67
➤ Alternativa 16	68
➤ Alternativa 17	68
➤ Alternativa 18	68
<b>CAPITULO V</b>	<b>68</b>
<b>5. Ensayos Marshall de las muestras</b>	<b>68</b>
<b>5.1. Granulometría 1, sin inclusión de fibras</b>	<b>69</b>
<b>5.2. Granulometría 1 con la inclusión de fibras</b>	<b>71</b>
<b>5.3. Granulometría 2 sin la inclusión de fibras</b>	<b>73</b>
<b>5.4. Granulometría 2 con la inclusión de fibras</b>	<b>75</b>
<b>5.5. Granulometría 3 sin la inclusión de fibras</b>	<b>77</b>
<b>5.6. Granulometría 3 con la inclusión de fibras</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO VI</b>	<b>81</b>
<b>6. Propuesta de diseño definitiva y comparación con requerimientos de normativa internacional</b>	<b>81</b>
<b>6.1. Determinación de diseño definitivo</b>	<b>81</b>
<b>6.2. Comparación de parámetros obtenidos con normativas vigentes</b>	<b>82</b>
<b>6.3. Durabilidad de los asfaltos SMA elaborados con materiales locales</b>	<b>85</b>
<b>CAPITULO VII</b>	<b>88</b>



<b>7. Análisis económico de alternativa definitiva y comparación con diseño Marshall tradicional .....</b>	<b>88</b>
<b>7.1. Costo de elaboración del hormigón tipo SMA.....</b>	<b>89</b>
<b>CAPITULO VIII .....</b>	<b>91</b>
<b>8. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>91</b>
<b>8.1. Conclusiones.....</b>	<b>93</b>
<b>8.2. Recomendaciones.....</b>	<b>95</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>96</b>
ANEXO 1.....	98
ANEXO 2.....	100
ANEXO 3.....	103
ANEXO 4.....	106



## Índice de Imágenes

Imagen 2.1. Ubicación de la zona de proliferación del Agave americano. Fuente (Google maps).	21
Imagen 2.2. Agave americano silvestre en la zona de Ñamarín, Nabón. ....	22
Imagen 2.3 Sección de cobertura vegetal con presencia de agave americano en la zona de Ñamarín, Oña .....	22
Imagen 2.4. Paquetes de fibras durante el proceso de secado. ....	23
Imagen 2.5. Fibras o cabuyas del agave después del proceso de selección y peinado. ....	24
Imagen 2.6. Planta asfáltica de ASFALTAR EP. ....	25
Imagen 2.7. Banco de áridos triturados en la Planta de ASFALTAR EP. ....	26
Imagen 3.1. Simulación de transmisión de cargas entre matrices de áridos (Gallart Villamor, 2011). ....	29
Imagen 3.2. Esquema de componentes del SMA Fuente. (Gallart Villamor, 2011) .....	29
Imagen 3.3 Cilindro rotatorio de la máquina de Los Ángeles. ....	34
Imagen 3.4. Extracción de los áridos ensayados y las bolas de acero. ....	35
Imagen 3.5. Agregados gruesos luego del ensayo de abrasión. ....	36
Imagen 3.6. Material fino resultante del proceso de abrasión. ....	36
Imagen 3.7. Calibrador para determinar cantidad de partículas planas. ....	38
Imagen 3.8. Calibrador para determinar cantidad de partículas alargadas. ....	38
Imagen 3.9. Procedimiento de comprobación de estado SSS en áridos finos. ....	40
Imagen 3.10 Procedimiento de llenado del picnómetro. ....	40
Imagen 3.11. Procedimiento de llenado del picnómetro .....	41
Imagen 3.12. Proceso de expulsión de burbujas de aire en ensayo de gravedad específica y absorción para agregados gruesos. ....	42
Imagen 3.13. Proceso registro de la masa de los materiales en condiciones SSS. ....	42
Imagen 3.14. Porciones de 3/4" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado .....	45
Imagen 3.15. Porciones de 1/2" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado. ....	45
Imagen 3.16. Porciones de 3/16" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado .....	45
Imagen 3.17 Paquetes de fibras de cabuya de agave americano para su distribución. ....	47
Imagen 3.18. Fibras de celulosas sueltas y enteras luego de haber sido sometidas al secado y peinado. ....	48
Imagen 3.19. Proceso de separación de las fibras y emparejamiento para el corte. ....	48
Imagen 3.20. Proceso de medición previa al corte de las fibras a usarse en la mezcla. ....	49
Imagen 3.21. Fibras cortadas y preparadas para usarse en la mezcla. ....	49
Imagen 3.22. Molde para elaboración de briqueta, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos SUELOTEC. ....	51



Imagen 3.23. Martillo compactador para briquetas, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de SUELOTEC.....	52
Imagen 3.24. Base de compactación, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.....	52
Imagen 3.25. Mordazas de sujeción de muestras, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.....	53
Imagen 3.26. Prensa para ensayo de muestras, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la SUELOTEC.....	54
Imagen 3.27. Medición de resistencia y deformación, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.....	55
Imagen 3.28. Termómetro que corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.....	56
Imagen 3.29. Balanza de rango de 1 g corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.....	56
Imagen 3.30. Proceso de pesaje de ligante asfáltico según dosificación. ....	57
Imagen 3.31. Calentado de ligante asfáltico. ....	57
Imagen 3.32. Proceso de pesaje de la porción de fibras para la elaboración de muestras. ....	58
Imagen 3.33. Proceso de pesaje de la porción de fibras para la elaboración de muestras. ....	58
Imagen 3.34. Proceso de mezclado de los materiales que conforman la muestra .....	59
Imagen 3.35. Proceso de llenado de moldes con la mezcla asfáltica.....	59
Imagen 3.36. Proceso de compactación de briquetas.....	60
Imagen 4.1. 54 briquetas elaboradas con las 18 alternativas de diseño. ....	61
Imagen 4.2. Preparación de briquetas para ensayos Marshall.....	62
Imagen 4.3. Control de temperatura en el baño de agua de briquetas para ensayo. ....	62
Imagen 4.4. Mediciones en briquetas de ensayo. ....	63
Imagen 4.5. Determinación de deformaciones y esfuerzos en briquetas. ....	63
Imagen 7.1. Fibras industriales de SMA. ....	91





## Índice de Tablas

Tabla 2.1. Coordenadas de la zona de proliferación del Agave americano.....	21
Tabla 3.1 Especificaciones granulométricas para distintos tamaños máximos nominales. Fuente. National Asphalt Pavement Association (NAPA). Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice. p. 8.....	30
Tabla 3.2. Análisis granulométrico 1.....	31
Tabla 3.3. Análisis granulométrico 2.....	32
Tabla 3.4. Análisis granulométrico 3.....	33
Tabla 3.5. Resultados de ensayo de abrasión con 11 bolas de acero en el cilindro.....	37
Tabla 3.6 Resultados de ensayo de abrasión con 8 bolas de acero dentro del cilindro. ....	37
Tabla 3.7 Dimensiones nominales para los calibradores de grosor y longitud (Norma ASTM D4791). ....	38
Tabla 3.8. Gravedad específica y absorción para material de 3/16”.....	41
Tabla 3.9. Gravedad específica y absorción para arena.....	41
Tabla 3.10. Gravedad específica y absorción para material de 3/4”.....	43
Tabla 3.11.Gravedad específica y absorción para material de 1/2”.....	43
Tabla 3.12. Gravedad específica y absorción para material de 3/8”.....	43
Tabla 3.13. Masa de áridos para ensayo. (Gonzalez Minaya, 2001).....	44
Tabla 3.14. Resultados de ensayo de partículas trituradas.....	46
Tabla 4.1 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 1, 2 y 3.....	64
Tabla 4.2 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 4, 5 y 6.....	65
Tabla 4.3 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 7, 8 y 9.....	66
Tabla 4.4. Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 10, 11 y 12.....	67
Tabla 4.5. Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 13, 14 y 15.....	67
Tabla 4.6 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativa 16. ....	68
Tabla 5.1 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 1.....	69
Tabla 5.2 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 2.....	69
Tabla 5.3 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 3.....	70
Tabla 5.4. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 4.....	71
Tabla 5.5. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 5.....	71
Tabla 5.6. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 6.....	72
Tabla 5.7. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 7.....	73
Tabla 5.8. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 8.....	73
Tabla 5.9. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 9.....	73
Tabla 5.10. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 10. ....	75
Tabla 5.11. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 11. ....	75
Tabla 5.12. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 12. ....	75
Tabla 5.13. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 13. ....	77
Tabla 5.14. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 14. ....	77
Tabla 5.15. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 15. ....	77
Tabla 5.16. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 16. ....	79
Tabla 5.17. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 17. ....	79
Tabla 5.18. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 18. ....	79
Tabla 6.1. Granulometría y dosificación en alternativa 19.....	82
Tabla 6.2. Propiedades físicas de las briquetas de alternativa 19. ....	82
Tabla 6.3. Resultados obtenidos en los ensayos Marshall de la alternativa 19.....	83



Tabla 6.4. Comparación de resultados con requerimientos de normativa SMA. (Sarang, 2015).....	83
Tabla 6.5. Comparación de resultados con normativa ecuatoriana. (MTOP, 2002).....	83
Tabla 6.6. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall (Invías, 2002).....	84
Tabla 6.7. Causas y efectos para la poca durabilidad en mezclas asfálticas. (Araiza Armenta, 2002) .....	86
Tabla 7.1. Análisis de precio unitario de producción de hormigón asfáltico comercial. ....	90
Tabla 7.2. Análisis de precio unitario de producción de hormigón asfáltico SMA. ....	90
Tabla 8.1. Tabla de resultados comparativos entre el método Marshall y SMA sin contenido de fibras y con contenido de fibras.....	92



## Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 19 mm.....	31
Gráfico 3.2. Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 12.5 mm....	32
Gráfico 3.3 Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 9.5 mm.....	33
Gráfico 5.1 Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 1,2 y 3.....	70
Gráfico 5.2. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 1, 2 y 3. ....	70
Gráfico 5.3. Porcentaje de asfalto – flujo. Alternativas 1, 2 y 3.....	71
Gráfico 5.4. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 4, 5 y 6.....	72
Gráfico 5.5. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 4, 5 y 6. ....	72
Gráfico 5.6. Porcentaje de asfalto - % de vacíos. Alternativas 4, 5 y 6.....	73
Gráfico 5.7. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 7, 8 y 9.....	74
Gráfico 5.8. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 7, 8 y 9. ....	74
Gráfico 5.9. Porcentaje de asfalto – % de vacíos. Alternativas 7, 8 y 9.....	74
Gráfico 5.10. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 10, 11 y 12.....	76
Gráfico 5.11. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 10, 11 y 12.....	76
Gráfico 5.12. Porcentaje de asfalto – % de vacíos. Alternativas 10, 11 y 12.....	76
Gráfico 5.13. Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 13, 14 y 15.....	78
Gráfico 5.14. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 13, 14 y 15.....	78
Gráfico 5.15. Porcentaje de asfalto – % de Vacíos. Alternativas 13, 14 y 15. ....	78
Gráfico 5.16. Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 16, 17 y 18.....	80
Gráfico 5.17. Porcentaje de asfalto - Flujo. Alternativas 16, 17 y 18. ....	80
Gráfico 5.18. Porcentaje de asfalto - % de Vacíos. Alternativas 16, 17 y 18. ....	80



## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Paúl Romeo López Avilés, autor del trabajo de titulación “Desarrollar una propuesta de diseño para incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos en la región utilizando el método SMA (Stone Mastic Asphalt), elaborándolos en base a materiales locales”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de mayo de 2018



Paúl Romeo López Avilés

C.I.: 010411621-5



## CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Paúl Romeo López Avilés en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Desarrollar una propuesta de diseño para incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos en la región utilizando el método SMA (Stone Mastic Asphalt), elaborándolos en base a materiales locales”, de conformidad con el art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de mayo de 2018

Paúl Romeo López Avilés

C.I: 010411621-5



## AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por la fuerza, el tiempo, la salud, la inspiración, las posibilidades, la iluminación y la caridad. A mis padres, mi esposa Colleen y mis hijos Nico y Camila por ser el combustible y el catalizador de los sueños. A mis maestros por la generosidad y la claridad de sus enseñanzas. A mi director Jaime, por el tiempo, por la guía y por la paciencia. A mis queridos hermanos por siempre apoyar los sueños y creer en mí y finalmente a mis compañeros de trabajo por el apoyo incondicional.



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis Padres y a su incansable esfuerzo por trabajar día a día en llenarme de herramientas para adquirir conocimiento.



## CAPÍTULO I

### 1. Introducción y Objetivos

#### 1.1. Introducción.

Durante mucho tiempo en el Ecuador se viene utilizando distintos métodos para mantener las vías en condiciones aceptables de circulación. Según información proporcionada por la Prefectura del Azuay, la actividad de mantenimiento vial llega a concentrar cerca del 67% del presupuesto gubernamental asignado a esta entidad.

Si bien es cierto, cambiar las condiciones de vías desde el lastre a una superficie de carpeta asfáltica significa mayores inversiones iniciales, a largo plazo estas se podrían ver justificadas por la disminución de intervenciones en su mantenimiento posterior.

El impacto del mejoramiento vial se traduce en una optimización de tiempo, mejora de calidad de circulación y mayor capacidad de accesos y salidas de productos de quienes utilizan diariamente el sistema vial.

Existen tres tipos de intervenciones dentro de las vías, el mantenimiento vial (limpieza, reparaciones puntuales), la construcción vial (apertura de nuevos proyectos viales) y el mejoramiento vial (incremento de capacidad portante). Como un ejemplo, en el año 2015, la inversión en vialidad de la Prefectura del Azuay es de aproximadamente \$ 44'000.000 de un total presupuestario de \$66'000.000, (Datos obtenidos del POA del Año 2015 de la Institución Provincial). La intención actual de cualquier administración vial es sustituir la matriz de mantenimiento vial en lastre por la de mejoramiento vial, es decir, incrementar la calidad de circulación vehicular y peatonal en las vías, al sustituir las vías en lastre por una estructura asfáltica (tratamientos bituminosos, carpetas asfálticas, hormigones hidráulicos, sellos asfálticos, suelos estabilizados, etc.) con el objetivo de optimizar sus características de circulación y al mismo tiempo disminuir la necesidad de intervenciones de mantenimiento, que a nivel de lastre son necesarias inmediatamente después de ocurrida la siguiente etapa invernal. Según datos proporcionados por la Prefectura del Azuay, una vía importante en lastre puede ser intervenida mínimo cada 2 años, por lo que existe un periodo considerable en el cual la vía no se encuentra en condiciones aceptables de servicio.

Las carpetas asfálticas pueden alcanzar teóricamente estados de servicio de alrededor de 10 a 20 años, lamentablemente, en el país existen informes que indican que muchas de las carpetas asfálticas alcanzan su vida útil en periodos de 4 años, (*Diario La Hora*, 2008). El problema principal con la baja duración de las carpetas asfálticas en estado de servicio radica en que la intervención a nivel de mantenimiento de dicha carpeta, en algunos casos puede ser casi inmediato y continuo, representando así elevados costos, como ejemplo, únicamente en 2007, la Empresa Metropolitana de Obras Públicas (EMOP) invirtió alrededor de \$20 millones en mantenimiento vial, consistente en bacheo de calles, pavimentación, recapeo, sellos asfálticos, adoquinado, entre otros (*Diario Hoy*, 2008). La Prefectura del Azuay informó que alrededor de \$ 33 millones de dólares son invertidos anualmente en el mantenimiento de la red vial rural en el Azuay, la cual está en lastre, y es común que una misma vía sea mantenida cada dos años, a pesar de que muchas veces la necesidad de una nueva intervención puede ser casi inmediata dependiendo de las lluvias. Además de la necesidad de intervención en vías a nivel de lastre, la duración de las vías en carpetas tradicionales no es de las mejores, como dato referente del Azuay, en el año 2012 se realizó la colocación de 1





½" de carpeta asfáltica en la Vía Zhucay – Tutupali, ubicada en la Parroquia Tarqui, Cantón Cuenca; posteriormente en el año 2014 se realizó una intervención a nivel de bacheo, lo que demuestra que en un lapso de dos años, se ha empezaron a evidenciar deterioros que requirieron intervenciones a nivel de mantenimiento vial. Es muy importante lograr mejorar el comportamiento de los asfaltos en el país; una de las posibles opciones es la utilización del SMA (Stone Mastic Asphalt) en el diseño y construcción de carpetas asfálticas en el Ecuador. Se estima que el 40% del deterioro se alcanza al 75% de la vida útil y a partir de aquí es muy progresivo y requiere, en general, para recuperar el estado inicial, una inversión muy elevada, en algunos casos próxima a la reconstrucción total (Costa Hernandez, 2011).

Dentro de las vías a nivel de lastre la metodología más económica de mantenimiento vial es el de tipo rutinario, el cual consiste en monitorear e intervenir permanentemente la vía con el afán de mantenerla en condiciones de servicio adecuadas. Según información proporcionada por el Ing. Francisco Darquea Córdova, Coordinador de la Competencia de Tasa Solidaria de la Prefectura del Azuay el mantenimiento rutinario en la red vial del Azuay se ejecuta mediante el trabajo diario de una cuadrilla que mediante el sistema de mingas se encarga de mantener las cunetas despejadas, alcantarillas y pasos de agua limpios y realizar un permanente bacheo con herramienta manual y sin compactación mecánica de las zonas que evidencien deterioro, este sistema denominado microempresas viales en promedio significa un costo anual de \$60,000 por 20 km de vías mantenidas por cada microempresa, valor que anualmente representaría \$3,000 por kilómetro de vía mantenida. A pesar de que la microempresa vial ayuda a prolongar la vida útil del trabajo de lastrado en un camino, no permite que la vida útil del mismo se alargue por más de dos años, siendo necesario al final un mantenimiento en un nivel más alto, tal como el periódico o tal vez una reconstrucción si es que se han perdido características estructurales y/o geométricas importantes.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Establecer una alternativa de diseño que permita incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos utilizados en el Ecuador, produciendo para ello hormigones asfálticos SMA fiables, utilizando materiales locales.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Replicar el método de diseño SMA utilizando medios y materiales comunes en el Ecuador y establecer si el material celulósico existente en el País permite su uso en la elaboración de hormigones Stone Mastic Asphalt.
- Analizar los hormigones asfálticos SMA elaborados con materiales locales y establecer propiedades físico mecánicas que permitan definir durabilidad.
- Evaluar y comparar los resultados de los ensayos y determinar la alternativa adecuada para usar.
- Analizar económicamente los costos de la alternativa de recomendación y comparar con hormigones asfálticos de producción local.

## CAPITULO II

### 2. Hormigones asfálticos tipo Stone Mastic Asphalt “SMA”

#### 2.1. Breve reseña histórica.

La mezcla SMA para pavimento fue desarrollada en Alemania a finales de los años 60. Se deseaba obtener un pavimento de máxima resistencia al desgaste y deterioro causado por los neumáticos de clavos en las rutas europeas.

La empresa de pavimentos, STRABAG, con la colaboración de J. Rettenmaier (líder en tecnología de fibras) desarrolló la mezcla SMA y posteriormente una vez prohibido el uso de neumáticos de clavos se verificó que el pavimento SMA aseguraba pavimentos durables que exhibían una muy elevada resistencia al desgaste en las rutas de alto tránsito (E-ASPHALT, 2014). Como consecuencia de ello, en 1984 se normalizó el sistema SMA en Alemania, y posteriormente comenzó a ser utilizado en otros países de Europa, Estados Unidos y Asia. Muchos países han establecido sus propias normas para SMA, y la CEN (Comisión de Standards Europeos) está en proceso de fijar una norma europea estandarizada (E-ASPHALT, 2014).

En los Estados Unidos, la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO y la European Asphalt Study Tour introdujeron el empleo de las mezclas SMA en vías de tráfico pesado a inicios de la década de 1990, ejecutando para ello varios proyectos viales. Se ha realizado un seguimiento y monitoreo al comportamiento de estas mezclas a través del cual se ha llegado a una serie de conclusiones que han permitido ratificar el buen comportamiento que presentan (durabilidad, resistencia al deslizamiento y reducción de costos). Se realizaron las evaluaciones de las mezclas SMA construidas entre los años 1991 y 1996 en Estados Unidos, después de 15 años, para un total de 100 pavimentos, localizados en 19 estados, donde se observó que los SMA eran más resistentes a la rodadura, se observó una menor propagación de fisuras, el comportamiento a fatiga arrojó una mejora en torno a 3 a 5 veces frente a sus homólogas convencionales, los valores de deslizamiento indicaron un buen comportamiento una vez eliminada la capa de ligante de inicio (Brown et al., 1997).

En Europa la utilización de las mezclas SMA está ampliamente difundida, excepto en los países con inviernos benignos (España, Francia, Portugal, Italia, etc.). Su aplicación principal es como capa de rodadura, cuando los requerimientos de tráfico y estado del firme necesiten la aplicación de una mezcla bituminosa de altas prestaciones (Lanchas, 2010).

Las características y metodología para las mezclas SMA están homologadas y reguladas mediante la norma europea EN 13108-5, mientras que, en los Estados Unidos, la AASHTO es la encargada de la normalización y estandarización. Erróneamente se han considerado a la SMA como carpetas asfálticas adecuadas únicamente en zonas con inviernos marcados (así nacieron inicialmente), pero gracias a sus características y propiedades de resistencia y durabilidad, este sistema de mezclas es aplicable en cualquier región en la cual se cuente con la disponibilidad de los materiales asfálticos, granulares y celulósicos necesarios para una elaboración técnica del SMA.

Los hormigones asfálticos denominados SMA (Stone Mastic Asphalt), básicamente consisten en una mezcla asfáltica con mayores dosis de ligante, que son mezcladas con agregados de tamaño grueso y adicionalmente fibras de celulosa que ayudan a evitar la segregación (Lanchas, 2010).



Las grandes cantidades de ligante asfáltico empleadas, del orden de 6,5 a 8 % en peso, aseguran una vida útil muy prolongada de este tipo de construcción y requieren de la adición de un sustrato fibroso para evitar la segregación del material y el drenaje del asfalto en la mezcla puesta en terreno (Zuñiga Calderon, 2008).

El SMA se caracteriza por su alto contenido en áridos gruesos y su distribución en un esqueleto de estructura controlada. Los vacíos de la matriz estructural están llenados por una masilla bituminosa de alta viscosidad. El elevado contenido de agregados – de por lo menos 70% - asegura un contacto perfecto entre las partículas después de la compactación. El grado de viscosidad del mastic se obtiene por el agregado de arena triturada. El bitumen se mantiene estabilizado en la composición granulada de áridos durante el proceso de mezcla, almacenaje intermedio, transporte, pavimentación y compactación por el agregado de un aditivo en base a fibras celulósicas (*E-ASPHALT*, 2014).

Al haber ofrecido buenos resultados en torno a la durabilidad y calidad, estas mezclas podrían ofrecer una solución en nuestro medio, sabiendo que nuestro país posee las condiciones geográficas y particulares, y que al ser productores de celulosa en grandes cantidades (deshechos de otros productos), se podría encontrar una solución a los problemas asfálticos y ambientales presentes en el Ecuador.

## 2.2. Ventajas y desventajas del uso de SMA.

Sobre las ventajas del SMA se puede destacar (Zuñiga Calderon, 2008):

- La mezcla SMA tiene buen desempeño a largo plazo, debido a su alta resistencia a la deformación permanente bajo altos niveles de tráfico. Esto significa que al existir menores deformaciones ante la repetición de ciclos de carga se asegura una vida útil mayor.
- Las características y dosificación de agregados son esenciales. La granulometría discontinua del agregado permitirá la formación de un esqueleto de piedras resistente, lo que impedirá la deformación plástica de la mezcla al someterse a cargas.
- Un alto contenido de ligante asfáltico cierra la mezcla y la vuelve menos porosa. Esto reduce el envejecimiento y agrietamiento, esto significaría mayor resistencia al envejecimiento.
- La mezcla presenta inicialmente una superficie de deslizamiento más lisa, con menor cantidad de vacíos. Esta superficie podría resultar incómoda por la baja adherencia de los neumáticos y la posibilidad del hidroplaneo en presencia de agua. Con el tiempo al irse eliminando y puliendo esta capa inicial empiezan a aparecer los agregados gruesos, lo que se traduce en una excelente rugosidad y agarre para el rodaje.

Como posibles desventajas de la aplicación del SMA, se tiene (Austroads, 2013):

- Es necesario un mayor tiempo de mezclado de los materiales debido a la necesidad de añadir las fibras y el filler.
- Las carpetas asfálticas con SMA necesitan estar enfriadas a los 40°C antes de abrirse al tráfico, con el objetivo de prevenir el flujo de ligante a la superficie.
- Inicialmente las carpetas con SMA podrían presentar una película lisa debido a la cantidad de ligante superior, esta película desaparece con el tiempo, pero en algunos casos podría ser necesaria la colocación de arena o polvo de trituración previo a la apertura al rodaje.
- El rendimiento suele ser menor, debido a que el personal que realiza el transporte, manipulación y tendido del SMA no está familiarizado con los procesos vinculados a este



sistema, y la atención especial que se debe mantener a los detalles puede repercutir en demoras.

- Al utilizarse polímeros en la estabilización del asfalto se necesitan temperaturas altas, por lo que la distancia de transporte de la mezcla podría restringirse a distancias menores.

### 2.3. Descripción general de los componentes del SMA

Los componentes del SMA son: las fibras celulósicas, los áridos y el ligante asfáltico.

#### 2.3.1. Fibras celulósicas.

Las fibras hacen que la mezcla se espese, evitando que el ligante drene de la mezcla antes de ser compactada. El contenido de fibra celulósica dependerá de las características de cada tipo de fibra, generalmente las comerciales se dosifican en alrededor del 0.3% en peso calculado sobre mezcla total (E-ASPHALT, 2014). En la India, actualmente se intenta obtener fibras naturales como sustitutas de las sintéticas (Kumar et al., 2004).

Existen varias opciones en el país para ser utilizadas como las fibras celulósicas de la mezcla SMA, tales como el bagazo de caña de azúcar, banano, palma africana, cascara de café o cacao y agave americano. Se ha escogido el agave americano como la fibra celulósica a ser utilizada en la elaboración de las muestras, debido a que es el producto con mayor disponibilidad en el Azuay.

El agave americano, una especie del agave o agaveceae, puede ser encontrado con mucha facilidad en las zonas desérticas de América (Elicriso, 2010). Es un cultivo de suma importancia a nivel agroindustrial, la mayor parte de las plantas se destinan para la obtención de bebidas alcohólicas con denominación de origen como el Tequila y el Mezcal, así también, una parte del agave cosechado se destina para la obtención de fibras. Tiene una gran cantidad de azúcares fermentables, los cuales se pueden utilizar para la producción de aditivos alimentarios como son los jarabes de fructosa o la insulina; así mismo, sus componentes pueden ser utilizados como mostos fermentables para la producción de aditivos alimentarios como el ácido láctico o la enzima transglutaminasa (Inkanatural, 2014).

La decisión de adoptar esta planta como la proveedora de las fibras celulósicas que pretende ser utilizadas en la elaboración del SMA radica en la elevada presencia de la misma en la provincia del Azuay, la facilidad de su cultivo y cuidados, los pocos recursos y atenciones que estas plantas necesitan para su desarrollo y que especialmente en zonas desérticas del Azuay el cultivo del agave americano se ha incrementado notablemente debido al interés de fabricar bebidas alcohólicas, tal es el caso de la zona de Ñamarín en Nabón y Oña. Inicialmente las fibras del agave americano eran utilizadas para la fabricación de hilos, cordeles y tejidos para costales, alfombras o mantas, (Inkanatural, 2014) de manera muy aislada y sin ningún tipo de proceso industrial. Únicamente la fabricación de estuco ha merecido cierta atención y no ha permitido la sustitución de este material por nuevas opciones sintéticas como el nylon o fibras de algodón y poliéster.

En la imagen 2.1 se observa la zona colindante entre los cantones de Ñamarín ubicada en Nabón y Oña al sur del Azuay junto con las coordenadas de ubicación en las cuales se captaron las imágenes mostradas a continuación. En estas imágenes se puede apreciar la proliferación de agave americano. El cultivo de esta planta ha crecido en los últimos años debido a la producción de bebidas derivadas de dicha planta, sin embargo, las hojas del agave las cuales poseen las fibras no tienen ningún valor comercial ni productivo actualmente para los moradores de la zona. Las coordenadas de la zona se encuentran en la tabla 1.

En la imagen 2.2 se puede apreciar de cerca al agave americano en la zona de Ñamarín que pertenece al cantón Nabón, al norte del río León.

En la Imagen 2.3 observamos una zona de cobertura vegetal en la que prolifera el agave americano, concretamente en la misma zona de Ñamarín en el costado sur del río León, el cual pertenece al cantón Oña.

*Tabla 2.1. Coordenadas de la zona de proliferación del Agave americano*

<b>Nombre de la ubicación:</b>	Ñamarin, Nabón
<b>Zona:</b>	17M
<b>Este:</b>	705138 mE
<b>Norte:</b>	9623062 mN
<b>Altitud:</b>	1,871.00 msnm



Imagen 2.1. Ubicación de la zona de proliferación del Agave americano. Fuente (Google maps).





*Imagen 2.2. Agave americano silvestre en la zona de Ñamarin, Nabón.*



*Imagen 2.3 Sección de cobertura vegetal con presencia de agave americano en la zona de Ñamarín, Oña*

Las fibras que el agave americano son longitudinales al sentido de sus hojas y se extraen mediante el secado y deshidratación de las hojas a la intemperie, el clima cálido y desértico colabora a que la materia no se descomponga ni se proliferen hongos o bacterias destructoras durante el proceso de secado.

En la imagen 2.4 se puede observar el proceso de secado de las fibras mediante la exposición a rayos solares por periodos superiores a 24 horas dependiendo del clima. En la imagen 2.5 se observa las fibras una vez que han sido peinadas y seleccionadas, este proceso depende mucho del grado de deshidratación que tenga el paquete de fibras para poder obtener fibras individuales. La destreza manual con la que se realice el peinado es muy importante ya que lo que se busca es separar todas las fibras y mantenerlas de la misma longitud en lo posible. Dentro de los procesos en los que se involucra a las fibras, el peinado y la extracción de las fibras indeseables es el procedimiento que más tiempo y destreza del operador necesita, siendo así el que contribuirá a elevar el costo de producción de la fibra deseada.



*Imagen 2.4. Paquetes de fibras durante el proceso de secado.*





*Imagen 2.5. Fibras o cabuyas del agave después del proceso de selección y peinado.*

Las fibras celulósicas basadas en yute o cabuya tendrán la función de aditivos estabilizadores. Normalmente pueden ser de origen mineral o de celulosa siendo estas últimas las escogidas para nuestros experimentos.

La función de las fibras dentro del hormigón asfáltico es ayudar a la estabilización del enlace entre el agregado grueso y el asfalto ligante. La forma de las fibras dependerá en gran medida de la mecánica de mezclado y de adición de las mismas en la planta, pero su comportamiento no está determinado por su forma específicamente.

La adición de fibras en pequeñas cantidades reducen el drenaje del ligante, las adiciones mayores pueden afectar las propiedades en servicio como la cohesión, rigidez y resistencia a la deformación permanente en formas inesperadas que necesitan considerarse cuando se prediga el desempeño en servicio (Woodside et al., 1998). La dosificación que se utilizará en los ensayos de este estudio será del 0.3% para las 18 alternativas de diseño (54 briquetas), valor que está dentro del rango estipulado por la norma y posteriormente se eleva la dosificación para analizar su comportamiento utilizando la granulometría y dosificación de asfalto que presentan mejor comportamiento en las 18 alternativas iniciales.

### **2.3.2. Áridos de mezcla.**

Los áridos que se utilizan en la mezcla deben tener características adecuadas para la elaboración del hormigón SMA. Estos áridos deben ser triturados y no se considera adecuado ningún agregado con más del 10% de su superficie redondeada (Prowell & Hurley, 2010). La granulometría de los áridos es una importante diferencia con respecto a otras mezclas habitualmente utilizadas, esta granulometría descarta ciertos tamaños de agregado (Lanchas, 2010). Si bien, el ser selectivos con el tamaño de materiales podría significar el desechar una gran cantidad de material y por tanto elevar los costos de producción, los cuales según algunos criterios pueden ser de alrededor del 20% superior a las mezclas convencionales (Australian Asphalt Pavement Association, 2000). Estos



costos iniciales más elevados quedan justificados con un nivel de intervención de mantenimiento menor y una vida útil más larga (Lanchas, 2010). Además de lo señalado se puede considerar que el utilizar un tamaño uniforme de material podría significar la utilización de una única mina proveedora de áridos, que a la larga podría resultar más conveniente.

Los áridos que se utilizarán provienen del lecho del río Paute, concretamente la zona comprendida entre Pirincay y Uzhupud que comprende alrededor de 12 km de longitud en el lecho, los proveedores son VIPESA S.A. Adicionalmente la Empresa Asfaltar EP suele recurrir a la adquisición de áridos provenientes de las canteras de Cochancay, Provincia del Cañar. El material de 1/2" fue provisto por la empresa Rinomaq S.A.

Para la producción de hormigón asfáltico se toma como referencia el proceso realizado en la empresa Asfaltar EP, empresa de la Prefectura del Azuay. Este material es triturado en la planta ubicada en la Parroquia Javier Loyola, cantón Azogues, provincia del Cañar, obteniéndose un material 100% triturado de río que se utiliza para la elaboración de las formulas maestras. La gerencia de Asfaltar aportó con todo lo necesario para la provisión de información sobre formulas, diseños y provisión de materiales de los tamaños utilizados en sus fórmulas maestras y producción, para ser contrastados con los utilizados para la elaboración de los hormigones asfálticos tipo SMA.

En la imagen 2.6 se observa la planta asfáltica de la empresa Asfaltar EP, así mismo en la imagen 2.10 se observa el stock de áridos productos de la trituración en la planta. Cabe recalcar que el traslado de la planta a la parroquia Javier Loyola en Azogues mantiene el mismo sistema de producción.



*Imagen 2.6. Planta asfáltica de ASFALTAR EP.*



*Imagen 2.7. Banco de áridos triturados en la Planta de ASFALTAR EP.*

El filler o relleno mineral son pequeñas partículas las cuales son insolubles en el asfalto y se esparcen en él como medio que permita modificar sus propiedades mecánicas y consistencia.

Generalmente como relleno mineral se emplea, cal, cemento, polvo de tiza, ceniza de combustible pulverizado, talco sílice, polvo de trituración, arenas o puzolanas. Su efecto que tiene sobre el asfalto es endurecerlo, es decir que ocurrirá una disminución en la deformación o fluencia producida por una carga, se reducirá su penetración y se obtendrá un incremento de rigidez. Deberá tenerse especial cuidado en que este material fino se encuentre completamente seco, suelto y libre impurezas orgánicas (Minnesota Department of Transportation, 2005). En el caso de los presentes ensayos, el filler proviene de los procesos de trituración de la planta de Asfaltar, estos finos minerales serán utilizados en la elaboración de las briquetas.

Los agregados seleccionados para la elaboración del SMA deben poseer características especiales de granulometría de tal manera que se asegure que esta geometría entregue la posibilidad del contacto piedra-piedra y que además presente una cantidad mínima de vacíos. El agregado grueso está definido por la relación del tamaño máximo nominal del agregado usado y de la porción del agregado retenido en el tamiz de abertura 4,75 milímetros, es decir el tamiz (número 4).

Los ensayos a los que se deberán someter los agregados gruesos vienen determinados por las siguientes normas:

- **Abrasión:** Desgaste mecánico del agregado sometido al ensayo de la máquina de Los Ángeles. Norma AASHTO T 96, ASTM C131 y ASTM C535
- **Partículas planas y alargadas:** Es el ensayo que permite la determinación de la relación entre las dimensiones longitudinales y transversales de las partículas la Norma que comprende este ensayo es la ASTM D 4791.
- **Absorción.** Es el ensayo que permite determinar la capacidad de absorción interna del agregado. Normas ASTM C 128, AASHTO T - 84.



- **Gravedad específica.** Este ensayo, el cual se utiliza además para determinar cantidad de vacíos, se utiliza para determinar el volumen ocupado por el agregado en mezclas que estén proporcionales a un volumen nominal. Normas ASTM C 128, AASHTO T - 84.
- **Peso Unitario.** El peso unitario es una relación entre la masa del material y el volumen en el que el material está contenido. Es importante calcular el peso unitario compactado en los hormigones asfálticos ya que en comparación al suelto se puede calcular el contenido de vacíos que tendrá el agregado grueso. La norma utilizada es la ASTM C 29.
- **Partículas trituradas.** Este ensayo sirve para analizar la cantidad de caras trituradas que presenta una pieza del agregado. La Norma que comprende este ensayo es la ASTM D 5821.

### 2.3.3. Ligante asfáltico.

El fabricante de asfalto en el Ecuador es la empresa pública de hidrocarburos del Ecuador EP PETROECUADOR, el cual comercializa a sub distribuidores que se encargan de proveer a los fabricantes de carpeta asfáltica del Asfalto AC-20 que normalmente se utiliza para las mezclas tradicionales.

Asfaltar EP realiza la adquisición del asfalto a las siguientes comercializadoras:

CORPETROLSA S.A. (Guayaquil)  
CLYAN SERVICES WORLD S.A. (Quito)

Estas son las compañías encargadas de distribuir el asfalto proveniente de Esmeraldas.

El cemento o ligante asfáltico que se puede utilizar para la elaboración de SMA puede ser del tipo regular, siendo estos de curado rápido y con grados de viscosidad AC-10, AC-20, AC-30 o equivalentes y así mismo pueden utilizarse asfaltos modificados. La norma americana AASHTO M 226 describe los tipos de ligante asfáltico que pueden ser utilizados para las mezclas SMA. En el Ecuador las distribuidoras de asfalto proveen asfaltos convencionales y en algunos casos han llegado a producir asfaltos modificados bajo pedidos especiales.

En los Estados Unidos actualmente se clasifican los asfaltos por el sistema SUPERPAVE, sustituyendo a las clasificaciones por viscosidad y por penetración (Roberts et al., 1996).

En algunos casos se ha añadido un requisito dentro del ligante asfáltico para asegurar que este llegue a comportarse según los parámetros requeridos, este requisito consiste en asegurar la inclusión de un polímero dentro de su especificación SUPERPAVE PG76-22. Adicionalmente, se han introducido nuevos equipos de prueba que permiten analizar el desempeño del pavimento, basándose en la influencia del ligante asfáltico (Brown et al., 1997).

El ligante asfáltico utilizado para la elaboración de las muestras de análisis ha sido provisto por la empresa Asfaltar EP, es del tipo AC-20 y en el Anexo 1 se observa su descripción y propiedades.





## CAPITULO III

### 3. Normativa internacional en la elaboración del SMA

#### 3.1. Normativas seleccionadas para el diseño

El diseño del hormigón asfáltico SMA se encuentra normalizado en varios países como Estados Unidos, Canadá, Australia y la Comunidad Europea, sin embargo actualmente en el Ecuador no existe una normativa que guíe la elaboración directa de la mezcla SMA.

El análisis de las características de materiales, elaboración y tendido de el hormigón SMA está basado principalmente en extractos de las normas Americanas como la AASHTO, recomendaciones emitidas por la NAPA (*National Asphalt Pavement Association*), Austroads, que es la Asociación de agencias de transporte por carretera y de tráfico de Australia, en las normas EN 13108-5: 2007/AC:2009 (Norma europea mezclas bituminosas) y recomendaciones de la Federal Highway Administration (FHWA). En el caso de la norma Australiana, Austroads fue desarrollada con el objetivo de mejorar los resultados y eficiencia del transporte de Australia y Nueva Zelanda gracias a la contribución técnica de expertos en el desarrollo tecnológico de construcción de carreteras, desarrollo de políticas de transporte y la el manejo y control de las políticas de transporte y organismos viales (Austroads, 2016).

Austroads son colectivamente responsables de la gestión de más de 900.000 km de carreteras por un valor de más de \$200'000,000 USD, representando al mayor activo de la comunidad en Australia y Nueva Zelanda (Austroads, 2016).

La norma australiana, la cual ha sido condensada en los trabajos de Austroads es la mas desarrollada en terminos completos de normalización y generalmente es utilizada como base bibliográfica del resto de documentación y desarrollo que se realiza en varios países para la busqueda y elaboración de equivalencias técnicas adecuadas para la elaboración de SMA en las diferentes condiciones de proyectos.

#### 3.2. Características técnicas de la mezcla y sus componentes.

El SMA está diseñado para un bajo contenido de vacíos de aire (aproximadamente 1 al 2% más bajo que las mezclas asfálticas de graduación densa), con una reducida presencia de partículas de mediano tamaño (Austroads, 2009).

El SMA es una mezcla de granulometría gruesa discontinua que tiene un número reducido de partículas en las fracciones de tamaño medio. Una de las características más decisivas de un SMA es el concepto de estructura de piedra-sobre-piedra. Aquí es donde la gran proporción de partículas de agregado grueso está en contacto con otra formando una estructura o armazón con vacíos grandes relativamente. Entonces la arena de tamaño de partículas, filler y aglutinante, están acomodados dentro de los huecos en la estructura de agregados gruesos (Austroads, 2009).

El objetivo de la mezcla asfáltica del tipo SMA es lograr un contacto casi continuo entre las partículas gruesas, para ello las partículas gruesas de la mezcla deberán constituir una porción mayor al 70% del total de árido presente en la mezcla, para que de esta manera el contacto piedra-piedra permita la transmisión de las cargas de manera uniforme hacia el mortero, tal como se observa en la Imagen 3.1.

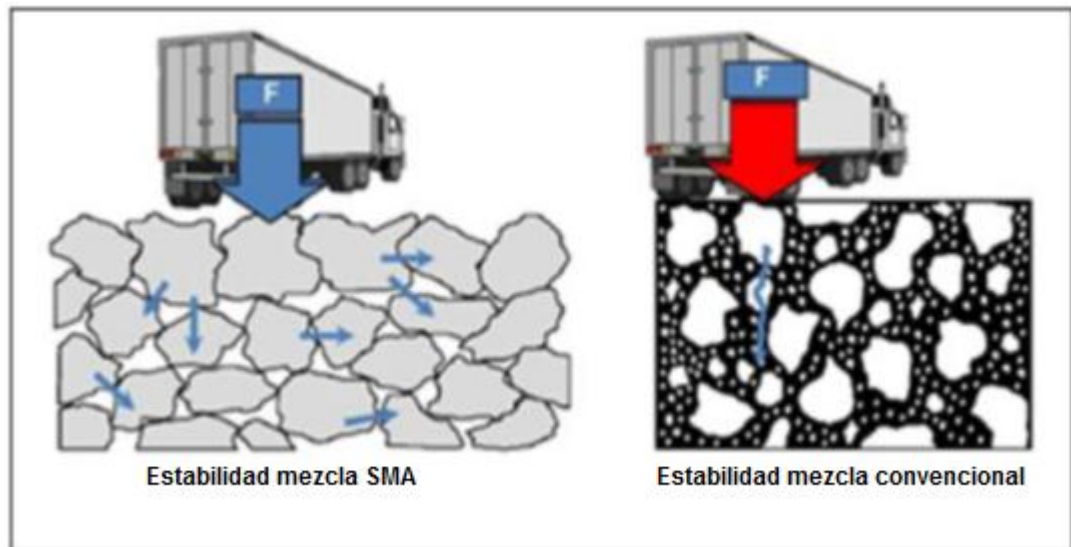


Imagen 3.1. Simulación de transmisión de cargas entre matrices de áridos (Gallart Villamor, 2011).

Como característica adicional, se indica que el alto contenido de material grueso en la mezcla necesita que el contenido de asfalto sea mayor, más adelante se describe la cantidad de asfalto a utilizar en los ensayos de fabricación de briquetas, adicionalmente se observa que es necesaria la presencia de fibras celulares que eviten el escurrimiento o segregación de la mezcla durante su transporte y manipulación en obra y puedan mantener un estado de “suspensión ideal” de la mezcla en las condiciones óptimas; cabe indicar que la acción de las fibras celulares no tiene efectos químicos en el hormigón asfáltico. Dentro del análisis de las granulometrías de diseño, se ha observado que los contenidos de material fino son también importantes para ayudar a estabilizar la mezcla, por lo que en realidad la estructura granulométrica de los hormigones SMA posee cantidades inferiores de partículas de tamaños medios.

En la Imagen 3.2 se aprecia un esquema de la composición de un hormigón asfáltico SMA.

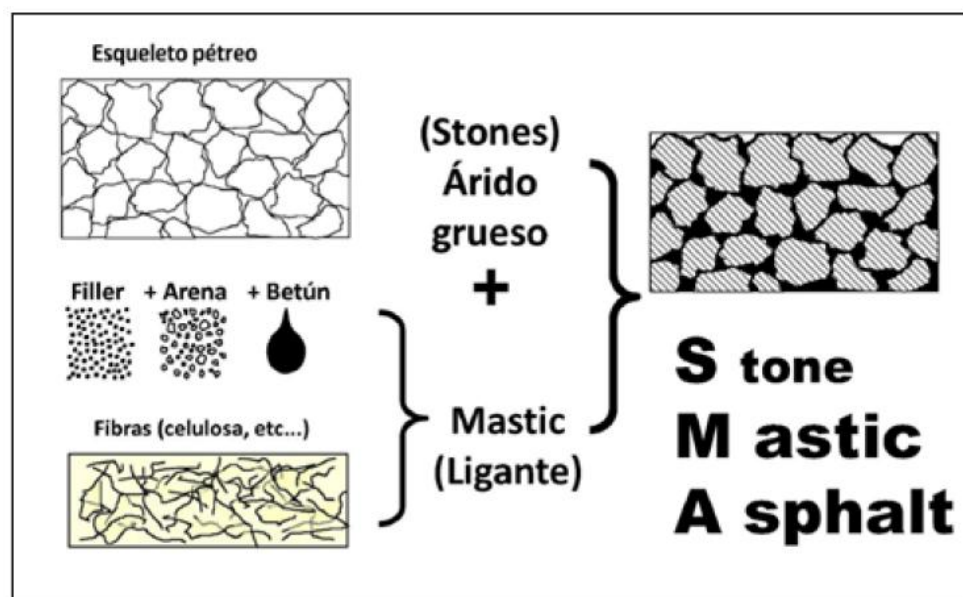


Imagen 3.2. Esquema de componentes del SMA Fuente. (Gallart Villamor, 2011)



### 3.3. Diseño de la mezcla asfáltica

#### 3.3.1. Selección de la granulometría

La adecuada selección de los materiales pétreos con los cuales se elabora el hormigón asfáltico es importante no solo para la composición del mortero sino para entregar a la calzada las propiedades adecuadas que eviten un desprendimiento de material y a la vez presente una superficie drenante adecuada para evitar las acumulaciones de agua. Por estas razones no se recomienda utilizar áridos con tamaños nominales mayores a 25 mm.

En la tabla 3.1. se puede apreciar tres posibles franjas granulométricas que permitirían la elaboración del SMA, esta tabla es recomendada por la NAPA (National Asphalt Pavement Association). Se puede observar que las tres franjas poseen contenidos de finos en más o menos las mismas proporciones a partir del tamiz No. 8, y la adopción de una franja definida podría tener repercusión en el acabado y posterior rugosidad de la carpeta asfáltica. Las propiedades físico-mecánicas del material, las cuales se analizan con los ensayos normalizados son tan importantes y mutuamente excluyentes con las franjas granulométricas expresadas a continuación.

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se han graficado las franjas granulométricas entre sus máximos y mínimos, existiendo un rango de trabajo entre los límites superior o inferior que nos permite establecer contenidos de agregado dentro de los parámetros.

*Tabla 3.1 Especificaciones granulométricas para distintos tamaños máximos nominales.  
Fuente. National Asphalt Pavement Association (NAPA). Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice. p. 8.*

Descripción de tamiz		Tamaño máximo nominal: 19 mm		Tamaño máximo nominal: 12.5 mm		Tamaño máximo nominal: 9.5 mm	
mm	pulgadas	Lim. Inferior	Lim. Superior	Lim. Inferior	Lim. Superior	Lim. Inferior	Lim. Superior
25	1	100	100				
19	3/4	90	100	100	100		
12.5	1/2	44	70	85	100	100	100
9.5	3/8	25	40	50	75	80	100
4.75	No. 4	20	28	20	28	28	50
2.36	No. 8	15	22	16	24	15	30
0.075	No. 200	8	12	8	12	8	13

Una vez obtenidos los materiales en los tamaños requeridos por la norma se procedió a obtener en laboratorio las cantidades de material granular que representan granulometrías que se encuentren dentro de los rangos de trabajo que los mínimos y máximos permiten en cada granulometría. Las granulometrías utilizadas para la elaboración de las briquetas de ensayo se describen a continuación.

En el gráfico 3.1 y tabla 3.2 se define la **granulometría 1**, la cual consiste en agregado grueso de mayor tamaño máximo nominal.

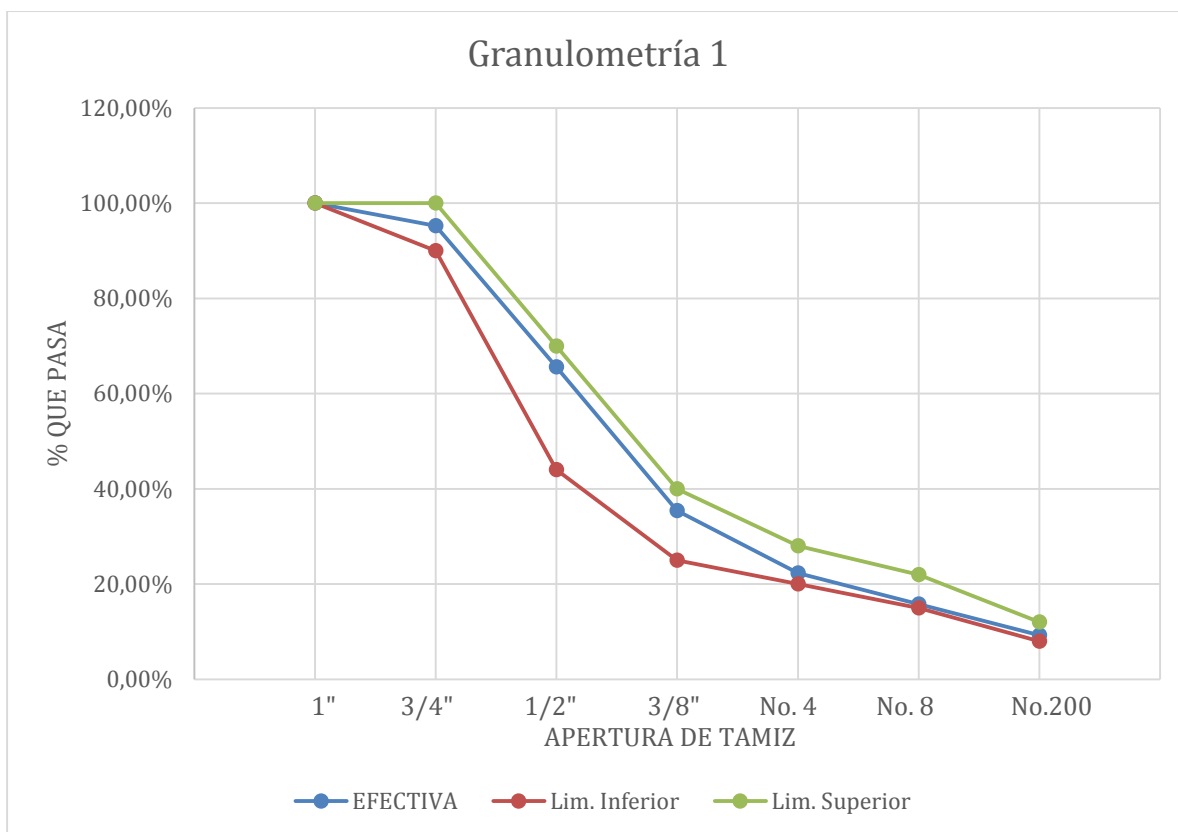


Gráfico 3.1 Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 19 mm.

Tabla 3.2. Análisis granulométrico 1

Tamiz	P. retenido acumulado	% retenido	% que pasa	Especificación SMA	
				Lim. inferior	Lim. superior
1 1/2 "	0	0.00%	100.00%	100	100
1 "	0	0.00%	100.00%	100	100
3/4	230	4.72%	95.28%	90	100
1/2	1.675	34.39%	65.61%	44	70
3/8	3.146	64.59%	35.41%	25	40
No.4	3.784	77.68%	22.32%	20	28
No.8	4.100	84.17%	15.83%	15	22
No.16	4.300	88.28%	11.72%		
No.30	4.320	88.69%	11.31%		
No.50	4.350	89.30%	10.70%		
No.100	4.380	89.92%	10.08%		
No.200	4.420	90.74%	9.26%	8	12
pasa No.200	451				
TOTAL	4.871 gr				

En el gráfico 3.2 y tabla 3.3 se define la **granulometría 2**, la cual se comporta como la granulometría media, con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm o 1/2".

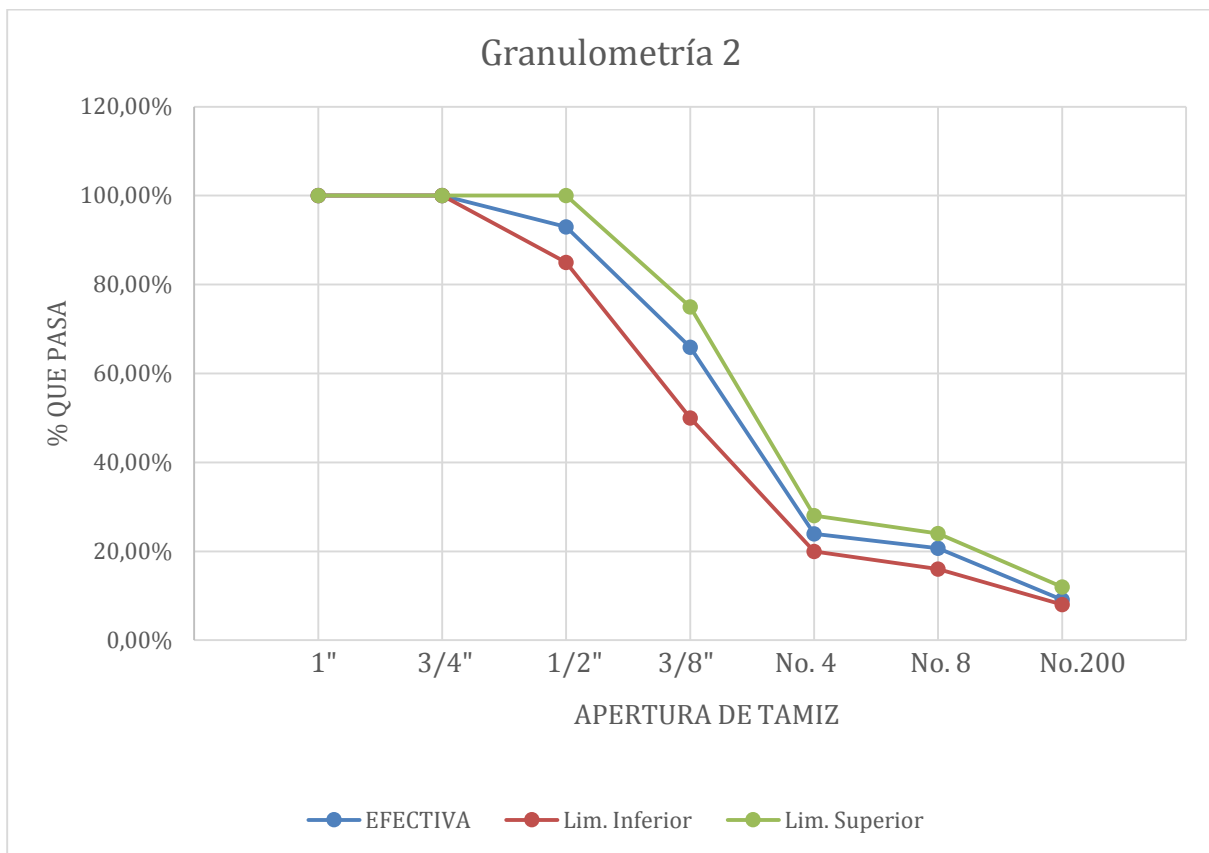


Gráfico 3.2. Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 12.5 mm.

Tabla 3.3. Análisis granulométrico 2

Tamiz	P. retenido acumulado	% retenido	% que pasa	Especificación SMA	
				Lim. Inferior	Lim. Superior
1 1/2 "	0	0.00%	100.00%		
1 "	0	0.00%	100.00%		
3/4	0	0.00%	100.00%	100	100
1/2	350	7.04%	92.96%	85	100
3/8	1.695	34.09%	65.91%	50	75
No.4	3.784	76.11%	23.89%	20	28
No.8	3.942	79.28%	20.72%	16	24
No.16	3.998	80.41%	19.59%		
No.30	4.152	83.51%	16.49%		
No.50	4.305	86.58%	13.42%		
No.100	4.404	88.58%	11.42%		
No.200	4.520	90.91%	9.09%	8	12
pasa No.200	452				
TOTAL	4.972 gr				





En el gráfico 3.3 y tabla 3.4 se define la **granulometría 3**, la cual se comporta contiene el menor tamaño máximo nominal.

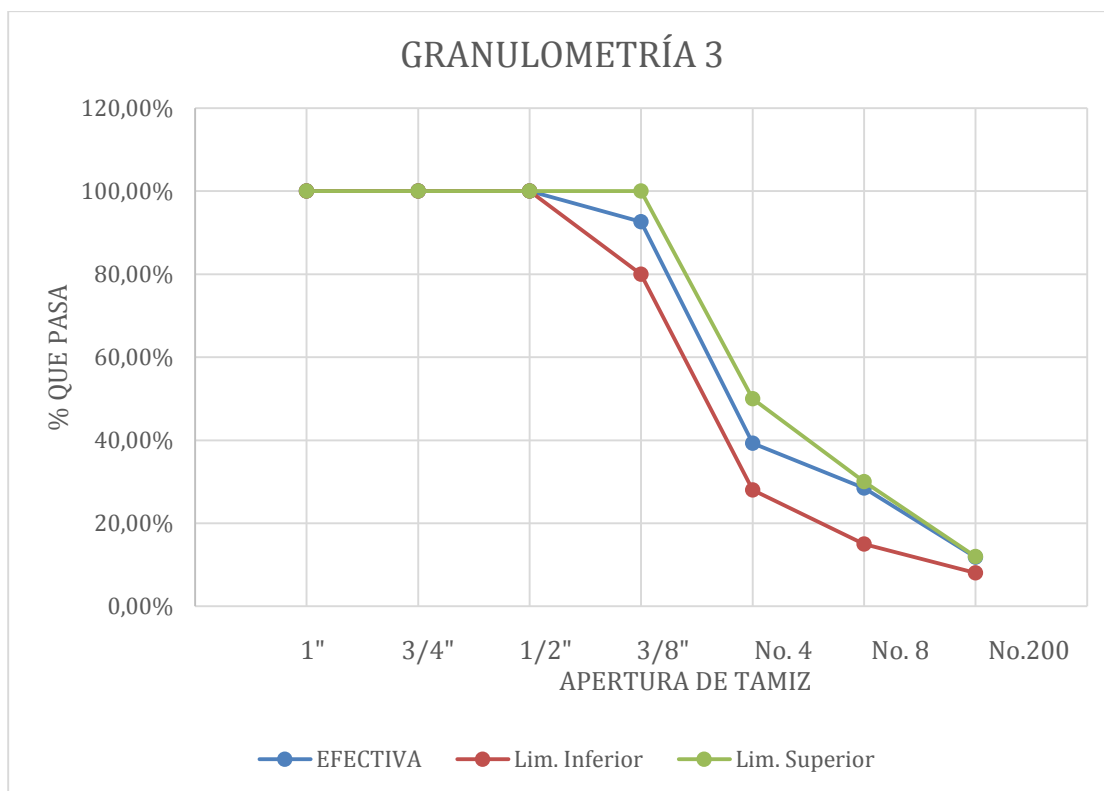


Gráfico 3.3 Granulometría de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN): 9.5 mm.

Tabla 3.4. Análisis granulométrico 3

Tamiz	P. retenido acumulado	% retenido	% que pasa	Especificación SMA	
				Lim. inferior	Lim. superior
1 1/2 "	0	0.00%	100.00%		
1 "	0	0.00%	100.00%		
3/4	0	0.00%	100.00%		
1/2	0	0.00%	100.00%	100	100
3/8	365	7.34%	92.66%	80	100
No.4	3.020	60.69%	39.31%	28	50
No.8	3.560	71.54%	28.46%	15	30
No.16	3.720	74.76%	25.24%		
No.30	4.057	81.53%	18.47%		
No.50	4.220	84.81%	15.19%		
No.100	4.350	87.42%	12.58%		
No.200	4.389	88.20%	11.80%	8	13
pasa No.200	587				
TOTAL	4.976				

### 3.3.2. Selección y ensayos en áridos a utilizar

Los áridos utilizados, han sido obtenidos de la Mina de VIPESA, ubicada en el sector de El Descanso, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay. Dichos áridos son obtenidos a su vez en distintas canteras disponibles en la zona del río Paute, río Rircay, canteras ubicadas en el Azuay y también provienen de canteras en la zona de Cochancay en la provincia de Cañar, adicionalmente para el material pasante de  $\frac{1}{2}$  " se recurrió a la empresa Rinomaq, y el filler fue obtenido de los procesos de trituración de áridos de la empresa Asfaltar EP, en el Anexo 2 se muestran los certificados de procedencia de los agregados, los cuales fueron obtenidos en los tamaños indicados en las franjas granulométricas, para ser utilizados en la elaboración de las briquetas y en los ensayos que se describe a continuación.

#### 3.3.2.1. Ensayo de abrasión de áridos con tamaños menores a 37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ) utilizando la máquina de Los Ángeles

El ensayo, el cual está basado en las normas ASTM C131, consiste en someter a la muestra de áridos que componen las diferentes briquetas elaboradas. Este y los siguientes ensayos a los que se sometieron los materiales se realizaron en el Laboratorio del Centro tecnológico de la construcción de la Prefectura del Azuay, el certificado del laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, con una longitud interior de  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$ " ) y un diámetro, también interior, de  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$ " ). En la imagen 3.3 se observa el cilindro cerrado en proceso de rotación. El cilindro gira en torno a ejes colocados en sus extremos.



*Imagen 3.3 Cilindro rotatorio de la máquina de Los Ángeles.*

En la imagen 3.4. se observa la extracción del material ensayado junto con las bolas de acero, posteriormente se realiza las mediciones y cálculos de desgaste.



*Imagen 3.4. Extracción de los áridos ensayados y las bolas de acero.*

Este ensayo consiste en la medición de la destrucción que sufre un agregado mineral de graduación estándar, como resultado de una combinación de acciones de giro, impacto y trituración en el cilindro de acero, el cual contiene la muestra y un determinado número de esferas de acero. Al girar el cilindro, se produce un efecto de impacto y triturado del material granular, provocándose un desgaste de los áridos. Existe un número determinado de revoluciones que el cilindro tienen que dar, así como un número determinado de esferas de acero que dependen de la muestra a ensayarse, al final del proceso se extrae la muestra ensayadas, se la tamiza y se cuantifica la porción de material que se trituro y se la compara con el peso del material que se mantuvo entero, y se calcula esta equivalencia como un porcentaje de perdida. En la imagen 3.5 se observa el material granular resultante luego del ensayo y en la imagen 3.6 el material fino que resultado del proceso de trituración.



*Imagen 3.5. Agregados gruesos luego del ensayo de abrasión.*



*Imagen 3.6. Material fino resultante del proceso de abrasión.*



Para registrar la abrasión en los agregados se procedió a realizar dos ensayos. En la tabla 3.5 se observa los resultados del ensayo con 11 bolas de acero dentro del cilindro y en la tabla 3.6. se registran los datos obtenidos con 8 bolas de acero durante el ensayo.

*Tabla 3.5. Resultados de ensayo de abrasión con 11 bolas de acero en el cilindro.*

Número de bolas de acero :		Peso
11	PESO MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	5000.0 g
	PESO DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO EN TAMIZ N° 12	4331.0 g
	PESO DE LA MUESTRA PASA TAMIZ N° 12	4325.0 g
	<b>PORCENTAJE DE DESGASTE :</b>	<b>15.59</b>

*Tabla 3.6 Resultados de ensayo de abrasión con 8 bolas de acero dentro del cilindro.*

Número de bolas de acero :		Peso
8	PESO MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	5000.0 g
	PESO DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO RETENIDO EN TAMIZ N° 12	4210.0 g
	PESO DE LA MUESTRA PASA TAMIZ N° 12	4183.0 g
	<b>PORCENTAJE DE DESGASTE :</b>	<b>19.41%</b>

Los requerimientos según la norma definen un máximo de porcentaje de desgaste de 25%, (Indian Road Congress, 2008), por lo tanto en los dos ensayos realizados los agregados cumplen con los parámetros requeridos.

### 3.3.2.2. Ensayo para determinar la cantidad de partículas planas y alargadas.

El ensayo determinante de cantidad de partículas planas y alargadas, o llamadas también lajas y agujas respectivamente tiene el objetivo de controlar la cantidad de áridos gruesos que presenten este tipo de consistencias dentro de la granulometría. No es recomendable la presencia en exceso de este tipo de materiales, debido a que fácilmente pueden fracturarse durante el proceso de manipulación, transporte, mezclado y distribución de la mezcla asfáltica, modificando así la granulometría inicial de diseño y, por tanto, alterando el comportamiento de diseño del hormigón asfáltico y disminuyendo la capacidad resistente del mismo.

Para dicho ensayo, se toma una muestra representativa del material de tamaños entre 3/4" y 1/2" (Tamiz 12.5 mm y 20 mm), se lo seca en el horno hasta obtener una masa constante y manualmente se lo analiza de la siguiente forma:

Calibrador de ranuras para determinar el índice de partículas planas. En la imagen 3.7 se observa el calibrador utilizado en el ensayo, el cual fue construido artesanalmente en el laboratorio del Centro Tecnológico de la Construcción. Este calibrador se construyó en base a los requerimientos de medidas especificadas en la norma ASTM D4791 como indica la tabla 3.7 a continuación.





Imagen 3.7. Calibrador para determinar cantidad de partículas planas.

Tabla 3.7 Dimensiones nominales para los calibradores de grosor y longitud (Norma ASTM D4791).

Tamices mm		Calibradores	
Pasa	Retiene	Grosor (Abertura en mm)	Longitud (Separación en mm)
63	50	33.9±0.3	-
50	40	27.0±0.3	81.0±0.5
40	25	19.5±0.3	58.5±0.5
25	20	13.5±0.2	40.5±0.3
20	12.5	9.7±0.2	29.2±0.3
12.5	10	6.7±0.1	20.2±0.3
10	6.3	4.9±0.1	14.7±0.2

Se entiende por partículas planas o lascas a la fracción de árido analizado, con dimensión mínima (grosor) inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción considerada.

Calibrador de barras utilizado para la determinación del índice de partículas alargadas o llamadas agujas. De la misma forma, el análisis se realiza manualmente, sometiendo una muestra representativa a un análisis individual de partículas a través de las barras, definiendo como partículas alargadas a la fracción de árido con la dimensión máxima (longitud) superior a 9/5 de la dimensión media de la partícula analizada. El calibrador que se observa en la imagen 3.8 ha sido elaborado por el personal del laboratorio del Centro Tecnológico de la Construcción y cumple con la norma ASTM D4791.



Imagen 3.8. Calibrador para determinar cantidad de partículas alargadas.



Los resultados del ensayo al que se sometió la muestra arrojó un resultado de 92% de partículas aceptables, es decir un 8% de partículas en rechazo; los valores nominalmente aceptados como máximos son del 30%, (Indian Road Congress, 2008) por lo que los agregados cumplen con la especificación requerida.

### **3.3.2.3. Ensayo para determinar la absorción y gravedad específica de agregados gruesos y finos.**

Los agregados que se utilizan en las mezclas de hormigón asfáltico, siendo estos agregados gruesos o finos poseen poros. En condiciones normales los poros pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, correspondiéndoles por tanto diferentes estados de densidad.

Es muy importante determinar el comportamiento que presentan los áridos según las diferentes situaciones de humedad a las que se encuentran sometidos, especialmente es importante definir la gravedad específica, la cual indica la relación entre el peso del material y el volumen que ocupan los agregados incluidos sus poros tanto saturables como no saturables, este parámetro es básico para el diseño de mezcla asfáltica y de hormigones en general ya que este permite definir el diseño de una unidad volumétrica de mezcla asfáltica.

Se debe indicar que, si bien es cierto, las mezclas asfálticas tipo SMA contienen fibras de celulosa, no se ha sometido estas al análisis de absorción o densidades y gravedades.

El proceso aplicado a la definición de factores de volumetría, pesos y absorción de agregados gruesos y finos es diferente, a continuación, se describe el proceso realizado para los agregados finos y gruesos.

Para el agregado fino: Este ensayo se aplica a partículas de tamaño inferior a los 4.75 mm (tamiz No. 4), este ensayo consiste en tomar una muestra representativa de agregado fino y se la sumerge durante 24 horas. Posteriormente, se tiende la muestra sobre una bandeja y se la seca mediante corriente de aire de manera uniforme hasta que los agregados quedan sueltos entre ellos. Posteriormente se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm. Cuando se retira el molde cónico lo que se busca es el desmoronamiento del agregado apisonado dentro del molde. Esto indica que el agregado ha alcanzado la condición de SSS (ver imagen 3.9), si es que al retirar el molde cónico la cohesión entre partículas provoca que la pirámide siga entera, se deberá repetir el proceso de secado y el ensayo hasta establecer las condiciones acordes a la norma ASTM C 128, en la cual se basa el ensayo. Posteriormente, con una muestra de 500 g del agregado se llena el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta los 250 cm<sup>3</sup> aproximadamente (ver imagen 3.10), se elimina mediante giros a las burbujas de aire atrapadas. Se registran los pesos en la balanza (ver imagen 3.11), se extrae la muestra en tazas y durante 24 horas se deja en el horno y se registran los pesos. En la tabla 3.8 se aprecian los valores obtenidos para el material 3/16" y en la tabla 3.9 se observan los resultados obtenidos en arena.

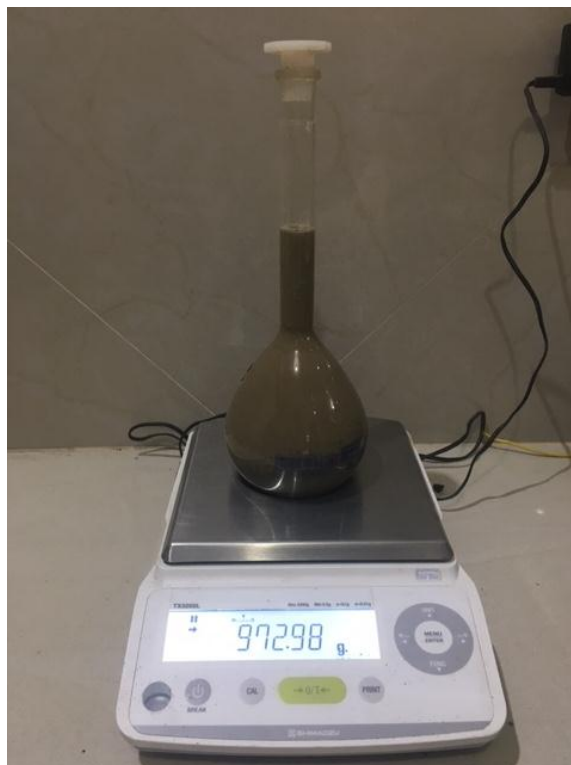


*Imagen 3.9. Procedimiento de comprobación de estado SSS en áridos finos.*



*Imagen 3.10 Procedimiento de llenado del picnómetro*



*Imagen 3.11. Procedimiento de llenado del picnómetro**Tabla 3.8. Gravedad específica y absorción para material de 3/16".*

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	a	495.4 g
Peso del picnómetro lleno con agua	b	1435 g
Peso del picnómetro lleno con agua y agregado	c	1748 g
Peso del material en condición SSS	d	500 g
Gravedad específica seca neta	$a/(d+b-c)$	2.653
Gravedad específica seca aparente	$b/(a+b-c)$	7.880
Gravedad específica en condiciones SSS	$d/(d+b-c)$	2.678
% de absorción	$(d-a)*100/a$	0.929

*Tabla 3.9. Gravedad específica y absorción para arena.*

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	a	493.3 g
Peso del picnómetro lleno con agua	b	662 g
Peso del picnómetro lleno con agua y agregado	c	973 g
Peso del material en condición SSS	d	500 g
Gravedad específica seca neta	$a/(d+b-c)$	2.610
Gravedad específica seca aparente	$b/(a+b-c)$	3.631
Gravedad específica en condiciones SSS	$d/(d+b-c)$	2.646
% de absorción	$(d-a)*100/a$	1.356

Para el agregado grueso: Este ensayo se aplica a partículas de tamaño inferior a la 1 ½", en la cual una selección de agregado se sumerge en agua por 24 horas + 4 horas con el fin de saturar los poros de cada una de las partículas. Cuando se remueve, se seca el agua de la superficie

de las partículas, determinándose su masa y se define el volumen mediante el método de desplazamiento de agua (se debe tener cuidado con la presencia de burbujas de aire en la muestra), la muestra posteriormente se seca al horno determinándose finalmente su peso. Con estos valores y con las formulas brindadas en la norma ASTM C127, es posible calcular la densidad, gravedad específica y la absorción.

En la imagen 3.12 se puede apreciar el proceso de vibrado para la expulsión de burbujas de aire del agua en el que se sumerge la muestra de árido grueso, en la imagen 3.13 se observa el registro de la masa de los materiales en condiciones SSS.



*Imagen 3.12. Proceso de expulsión de burbujas de aire en ensayo de gravedad específica y absorción para agregados gruesos.*



*Imagen 3.13. Proceso registro de la masa de los materiales en condiciones SSS.*

A continuación, en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12 se encuentran los resultados obtenidos en los ensayos de absorción y gravedades específicas para los agregados gruesos de 3/4", 1/2" y 3/8" respectivamente.



Tabla 3.10. Gravedad específica y absorción para material de 3/4".

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	a	1480 g
Peso en el aire de la muestra en condición SSS	b	1500 g
Peso en el agua de la muestra en condición SSS	c	963 g
Gravedad específica Bulk.	$a/(b-c)$	2.756
Gravedad específica SSS	$b/(b-c)$	2.793
Gravedad específica aparente.	$a/(a-c)$	2.862
% de absorción	$(b-a)/a*100$	1.345

Tabla 3.11. Gravedad específica y absorción para material de 1/2".

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	a	1479 g
Peso en el aire de la muestra en condición SSS	b	1500 g
Peso en el agua de la muestra en condición SSS	c	957 g
Gravedad específica Bulk.	$a/(b-c)$	2.724
Gravedad específica s.s.s.	$b/(b-c)$	2.762
Gravedad específica aparente.	$a/(a-c)$	2.833
% de absorción	$(b-a)/a*100$	1.420

Tabla 3.12. Gravedad específica y absorción para material de 3/8".

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	a	1481 g
Peso en el aire de la muestra en condición SSS	b	1500 g
Peso en el agua de la muestra en condición SSS	c	951 g
Gravedad específica Bulk.	$a/(b-c)$	2,698
Gravedad específica s.s.s.	$b/(b-c)$	2,732
G específica aparente.	$a/(a-c)$	2,794
% de absorción	$(b-a)/a*100$	1,283

Dentro de las normas para el diseño del SMA la absorción debe ser menor al 2% (Indian Road Congress, 2008), los resultados obtenidos en los respectivos ensayos de absorción a los que se sometieron los áridos arrojaron resultados inferiores al 2% admitido, por lo que los materiales utilizados son los adecuados.

### 3.3.2.4. Peso Unitario

El peso unitario de los agregados es llamado también como densidad total o densidad total neta (bulk density), y está definido como el peso de un volumen de agregado (incluyendo el de las partículas individuales y vacíos en la muestra).

La determinación del peso unitario se establece mediante la relación entre la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen de este agregado incluyendo sus vacíos de aire y poros. Los resultados son esenciales para establecer las proporciones de agregados en mezclas.

El ensayo para determinar el peso unitario se realiza en el material en estado suelto y compactado; de la misma forma, dependiendo del tamaño máximo de los áridos la determinación del peso unitario



compactado se realiza con muestras consolidadas mediante sacudido o varillado (el caso del presente ensayo).

Este último procedimiento se utiliza con agregado que tenga un tamaño máximo nominal no mayor que 1 ½", consiste en introducir el agregado en el molde seleccionado y llenándolo en tres capas de igual altura; cada capa es compactada por medio de la aplicación de 25 golpes (igualmente espaciados sobre su superficie) con una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica. La primera capa se debe nivelar con los dedos su superficie, a continuación, se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente. A continuación se llena el recipiente a dos tercios de su altura, se vuelve a nivelar y varillar (para la segunda y tercera capa se procura aplicar golpes vigorosos pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior), finalmente, se llena el recipiente hasta rebosarlo y se varilla de la forma descrita anteriormente, se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga por encima del nivel del borde del recipiente. A continuación se determinan los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de al menos 0.1 lb o 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos necesarios (Lab. materiales de Construcción, 2001). Los resultados de los ensayos realizados se encuentran en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12 del numeral anterior.

### 3.3.2.5. Partículas trituradas

El propósito de este ensayo es determinar mediante un ensayo de observación, el porcentaje de partículas dentro de la granulometría que presentan caras fracturadas. Lo que se busca es que la mayor cantidad de partículas presentes en la gradación de la mezcla sean fracturadas ya sean por trituración o impacto, con el objetivo de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante.

El procedimiento consiste en extraer una muestra significativa del material, según lo establecido dentro de la norma ASTM D 5821. En la Tabla 3.13 se establecen los tamaños de muestra mínimos a evaluarse, al ser un ensayo basado en la observación es muy importante que la muestra sea completamente representativa y en las cantidades establecidas en la norma.

Tabla 3.13. Masa de áridos para ensayo. (Gonzalez Minaya, 2001)

Tamaño máximo nominal ASTM	Masa mínima para el ensayo (g)
3 ½"	90000
3"	60000
2 ½"	30000
2"	15000
1 ½"	7500
1"	3000
¾"	1500
½"	500
3/8"	200

El procedimiento consiste en esparcir las partículas a analizar, y revisar minuciosamente cada una de ellas, estableciendo las porciones que contienen los agregados con caras fracturadas o que cumplen con el criterio de presentar caras fraccionadas. En la imagen 3.14 se observa una porción



de las muestras de 3/4" ensayadas, separadas en los criterios de 100% triturado, cuestionable y redondeado, de la misma forma para los agregados de 1/2" se observa la imagen 3.15, se realizó el ensayo para partículas de tamaño 3/8" y en la imagen 3.16 se observa el ensayo para material 3/16". Luego se procede a pesar las fracciones y compararlas relativamente con la muestra inicial. Los resultados del ensayo entregaron resultados satisfactorios en los materiales de 1/2" y de 3/4" en los cuales el porcentaje de muestra con 100% de fracturación supera el 80% del banco de ensayo. En el caso del material 3/4" el banco del material no presento el porcentaje admitido por lo que para efectos de elaboración de briquetas se procedió manualmente a seleccionar las partículas adecuadas y formar un banco de fabricación que cumpla con el requisito de la norma (Austroads, 2016). Los resultados de los ensayos se encuentran en la tabla 3.14



Imagen 3.14. Porciones de 3/4" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado



Imagen 3.15. Porciones de 1/2" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado.



Imagen 3.16. Porciones de 3/16" analizadas. Grupos triturado, cuestionable y redondeado





Tabla 3.14. Resultados de ensayo de partículas trituradas

DESCRIPCIÓN	% de peso	Peso muestra
Peso total de material 1/2"	100%	1998 g
Peso de fracción de 1/2" con 100% de caras fracturadas	84%	1688 g
Peso de fracción de 1/2" cuestionable	10%	200 g
Peso de fracción de 1/2" redondeada	6%	110 g
Peso total de material 3/4"	100%	2001 g
Peso de fracción de 3/4" con 100% de caras fracturadas	58%	1159 g
Peso de fracción de 3/4" cuestionable	23%	458 g
Peso de fracción de 3/4" redondeada	19%	384 g
Peso total de material 3/8"	100%	1999 g
Peso de fracción de 3/8" con 100% de caras fracturadas	87%	1745 g
Peso de fracción de 3/8" cuestionable	8%	165 g
Peso de fracción de 3/8" redondeada	4%	89 g
Peso total de material 3/16"	100%	1500 g
Peso de fracción de 3/16" con 100% de caras fracturadas	89%	1340 g
Peso de fracción de 3/16" cuestionable	6%	89 g
Peso de fracción de 3/16" redondeada	5%	71 g

### 3.3.3. Selección del ligante.

El ligante a utilizar inicialmente es cemento asfáltico de grado de viscosidad AC-20, es el tipo de ligante que actualmente Petroecuador que comercializa a los productores de hormigones asfálticos, cualquier tipo de asfalto especial o de características especiales no es producido comercialmente en el Ecuador. El asfalto para la elaboración de las briquetas fue suministrado por la empresa ASFALTAR EP y este asfalto se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 2 515:2010. Los ensayos a los que se somete el asfalto arrojaron los siguientes resultados:

Viscosidad a 60°C      166 Pa      Admisible: 200±40 Pa

Punto de inflamación:      285°C      Admisible: > 232°C

Índice de penetración:      -1.3      Admisible: -1.5 a 1.0

Gravedad específica:      1.018

Peso específico Neto:      1.02

En el Anexo 1 se observa el control de calidad y propiedades de los asfaltos a los que se someten los lotes entregados a la Empresa Asfaltar, en ella se pueden observar más resultados de relevancia para caracterizar el ligante asfáltico.

### 3.3.4. Preparación de las fibras celulósicas.

La celulosa a utilizarse en la elaboración del SMA proviene del secado de las hojas del agave americano. A pesar del potencial de la zona del Azuay para producir la celulosa a partir del agave americano, la mayor parte de la provisión de la cabuya o yute de agave, el cual mayormente se utiliza en la fabricación de estucos proviene de la provincia de Chimborazo; el proveedor mayorista en el Azuay es la distribuidora Andrade, la cual comercializa el producto en forma de paquetes de aproximadamente 70 lb a un costo de \$50,00 por paquete, lo que significa un costo \$1.57 por kg de yute sin procesar.

En la imagen 3.17 se aprecia la forma en que las pacas de yute o agave se distribuyen. Si bien, el material se encuentra casi deshidratado todavía necesita de manipulación manual para separar sus fibras mediante un peinado y luego se les expone a los rayos solares para secar totalmente las fibras individuales, como se observa en la imagen 3.18.

El proceso de peinado, separación y corte de las fibras en los tamaños adecuados para ser colocados en la mezcla tomó alrededor de 1 hora por cada 5 kg de fibra, con dos personas trabajando en el separado y peinado y otra en el corte en guillotina. El corte de fibras para la elaboración de estas briquetas fue prácticamente artesanal y de control visual, se estima que al industrializar el proceso de corte de las fibras podría reducirse considerablemente el tiempo y por tanto el costo del proceso, sin embargo, para efectos del análisis de precio unitario al que se va a someter el hormigón asfáltico SMA se considera \$1.00 por el costo de procesamiento de cada kilogramo de fibra, llegando a un precio total de \$2.57 por kg de fibra preparada.



*Imagen 3.17 Paquetes de fibras de cabuya de agave americano para su distribución.*



*Imagen 3.18. Fibras de celulosas sueltas y enteras luego de haber sido sometidas al secado y peinado.*

Estas fibras fueron recortadas en longitudes entre 5 mm hasta 10 mm para ser colocadas en una relación de 0,3% en la mezcla asfáltica. Esta proporción es una constante de diseño en las distintas normativas revisadas. Una vez ensayadas las 18 alternativas de 3 briquetas cada una se procedió a elaborar 3 briquetas finales con contenido de fibras en un 0.35% utilizando la granulometría con los mejores resultados dentro de las inicialmente ensayadas; definiendo la alternativa 19 y finalmente, se elaboraron 2 briquetas adicionales con contenido de 0.40% pero los resultados de estabilidad no fueron satisfactorios. En las imágenes 3.19, 3.20 y 3.21 se puede apreciar el proceso de preparación de las fibras previas a la colocación en la mezcla.



*Imagen 3.19. Proceso de separación de las fibras y emparejamiento para el corte.*





*Imagen 3.20. Proceso de medición previa al corte de las fibras a usarse en la mezcla.*



*Imagen 3.21. Fibras cortadas y preparadas para usarse en la mezcla.*



### **3.3.5. Selección del filler.**

El filler o relleno mineral fue provisto por la Empresa Asfaltar, producto derivado de procesos de trituración de áridos. Existen variedad de materiales que pueden ser utilizados como relleno mineral, estos pueden ser cenizas, escorias, cal, etc. Estos materiales son de origen mineral (Austroads, 2016).

## **3.4. Análisis de las muestras de hormigón asfáltico SMA**

### **3.4.1. Introducción a los ensayos normalizados**

Los ensayos normados permiten analizar a los materiales de manera individual en relación a sus características físico mecánicas. Sin embargo, la elaboración del SMA implica que se debe buscar que los componentes puedan constituir un hormigón asfáltico de determinadas características, las cuales sean equivalentes o similares a las teóricas.

Estas pruebas se encuentran contenidas en la norma australiana AS 2891 "Methods Sampling and Testing Asphalt" o en los métodos de State Road Authority (DMR 1998a), (Austroads, 2013).

Las pruebas o ensayos contenidos en la norma australiana a su vez están basadas en metodologías americanas de ensayo. En los Estados Unidos los organismos encargados de normalizar los ensayos son la "American Society of Testing Materials" (ASTM), la "American Association of State Highway and Transportation Officials" (AASHTO) (Kandhal, P.S. "Ken", Lee, Dah Yinn & Lee, K., 1996).

Mundialmente, las pruebas tradicionales de diseño de mezcla como la estabilidad y flujo Marshall, están ampliamente difundidas, en el presente caso, al contar con el laboratorio SUELOTEC y el laboratorio del Centro Tecnológico de la Construcción de la Prefectura de Azuay, se evaluaron las muestras elaboradas mediante el método Marshall.

El método Marshall a diferencia del método SUPERPAVE no está basado en desempeño directamente, sino que intenta predecir el potencial desempeño de la mezcla evaluando ciertas características tales como su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos. Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall siendo la US Army Corps of Engineers quien la revisó y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall hasta que se pudo normalizar dentro de la ASTM D1559 (Cáceres Morales, 2007). El método Marshall garantiza que las propiedades volumétricas del hormigón asfáltico se encuentren dentro de los rangos de diseño, por lo que Marshall pretende asegurar la durabilidad y comportamiento de un asfalto mediante el control de las cantidades volumétricas.

### **3.4.2. Resistencia a la Deformación Plástica de Mezclas Asfálticas utilizando el método Marshall**

La prueba tiene como objetivo determinar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la fabricación y rotura de probetas utilizando el aparato Marshall. El ensayo



consiste en la fabricación de probetas con el hormigón asfáltico requerido de análisis. Las probetas tienen una dimensión de 4" de diámetro y 2 ½" de altura y la cantidad necesaria para conseguir una muestra significativa depende de las variantes en diseño que se evalúen, cabe recordar que el tamaño máximo del árido de la mezcla no debe superar los 25 mm (NLT-159/86, 1986). Los aparatos y materiales necesarios para el ensayo son:

➤ **Conjunto de compactación**

Consiste en el collar, molde y placa de base, es el componente que da forma a la muestra, en la imagen 3.22, se observa el molde utilizado para elaborar las briquetas.



*Imagen 3.22. Molde para elaboración de briqueta, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos SUELOTEC.*

➤ **Extractor**

Una vez que la probeta ha sido compactada es necesario extraerla del molde, para ello se sustituye la placa de base por un disco extractor de acero de diámetros comprendidos entre 100 mm y 101 mm y unos 15 mm de espesor. Utilizando cualquier dispositivo que fuerce suavemente a la probeta a pasar del molde al collar.

➤ **Masa de compactación.**

Para realizar la compactación de las probetas se utiliza un dispositivo de acero que martilla con su base plana de 98,4 mm de diámetro a la muestra, y un pistón de 4,536 g montado sobre una guía que permite su caída libre desde una altura de 457.2 mm (imagen 3.23).



*Imagen 3.23. Martillo compactador para briquetas, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de SUELOTEC.*

➤ **Base de compactación.**

Consiste en una base cuadrada de madera de 200 mm de lado y 450 mm de altura, y provista en su cara superior de una placa cuadrada de acero de 300 mm de lado y 25 mm de espesor, firmemente sujeto a la misma. La madera será de roble, pino u otro tipo que posea una densidad de entre 670 y 770 kg/m<sup>3</sup>. El conjunto se fija a una base de hormigón como se observa en la imagen 3.24.



*Imagen 3.24. Base de compactación, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.*

➤ **Soporte del molde**

Se utiliza para fijar rígidamente y centrar el conjunto de molde y placa con la placa de base mientras se ejecuta la compactación.

➤ **Mordazas**

Son dos piezas que abrazan la muestra, poseen unas guías a sus costados que sirven para unir las, pero sin provocar un rozamiento entre las mordazas (imagen 3.25).



*Imagen 3.25. Mordazas de sujeción de muestras, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.*

➤ **Prensa**

Es la que se utilizará para la rotura de las muestras. Debe tener la capacidad de transmitir una velocidad uniforme de desplazamiento de la mordaza de  $0.85 \pm 0.02$  mm/s. Su capacidad de carga mínima será de 30 kN y deberá comprobarse frecuentemente que su velocidad de carga se mantenga con un 5% de error en más o menos como máximo. En la imagen 3.26 se aprecia la prensa del laboratorio SUELOTEC con sus accesorios para el ensayo.



*Imagen 3.26. Prensa para ensayo de muestras, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la SUELOTEC.*

### ➤ Medidores de estabilidad y deformación

La resistencia de la probeta será medida y monitoreada durante el ensayo con una serie de anillos dinamométricos acoplados y con una capacidad de medición de  $\pm 2\%$  de la carga. (NLT-159/86, 1986) (imagen 3.27).

Según la norma española NLT-159/86: “la deformación, o disminución del diámetro de la probeta, puede obtenerse con un comparador dividido en decimas de milímetro (0,1 mm) y de lectura final fija, sujeto firmemente en la mordaza superior y cuyo vástago se apoya en una palanca ajustable, acoplada en la mordaza inferior. En el laboratorio es recomendable disponer de prensas con células de carga y transductor de desplazamiento para el registro gráfico de la curva estabilidad-deformación, que cumplan el requisito de precisión indicado antes. Una escala adecuada para el registro gráfico puede ser la de:

15 mm para cada KN de estabilidad y

10 mm para cada mm de deformación”.



*Imagen 3.27. Medición de resistencia y deformación, corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.*

#### ➤ Elementos de calefacción

Consiste en la estufa con control termostático permitirá calentar los áridos, material bituminoso, conjunto de compactación y maza. Debe poder mantener la temperatura requerida con errores menores a los 3 °C.

#### ➤ Mezcladora

La operación de mezclado de los materiales de ser posible deberá realizarse con una mezcladora mecánica; en el caso de no disponerse de una se deberá realizar un mezclado manual sobre una estufa o mechero que mantengan las temperaturas óptimas.

Es necesario contar con un recipiente de al menos 50 lt de capacidad y profundidad mínima de 150 mm. Este recipiente deberá mantener un control termostático en su líquido para mantenerlo en  $\pm 1$  °C de error.

#### ➤ Termómetros

Para controlar las temperaturas de los componentes y de la mezcla, el termómetro que mida la temperatura de agua debe ser diferente y con mayor sensibilidad (imagen 3.28).





*Imagen 3.28. Termómetro que corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC.*

#### ➤ **Balanzas**

Es necesario contar con dos balanzas, la grande de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para pesar los materiales para la preparación de mezclas y una de 2 kg y 0.1 g de escala para pesar las briquetas (imagen 3.29).



*Imagen 3.29 Balanza de rango de 1 g corresponde al equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de SUELOTEC*

### 3.5. Procedimiento para de elaboración de muestras

Se pesa la cantidad exacta de asfalto según la dosificación establecida en la formulación (imagen 3.30) y posteriormente se calienta el asfalto hasta que se encuentre fluido, como se observa en imagen 3.31.



*Imagen 3.30. Proceso de pesaje de ligante asfáltico según dosificación.*



*Imagen 3.31 Calentado de ligante asfáltico.*

En este punto se agrega las fibras de celulosa a la bandeja de mezclado con los áridos. Gracias a las repeticiones en los ensayos se encontró que la manera de generar una mezcla homogénea de

ligante celulosa y árido consistía en colocar la masa definida de fibras en el centro ya recubiertas de asfalto y posteriormente colocar la cantidad de ligante asfáltico en la mezcla con los áridos, de esta manera se evita que se produzcan grumos o manojos. Hay que señalar que la fibra inicialmente debe estar seca y suelta. Este procedimiento puede observarse en las imágenes 3.32 y 3.33.



*Imagen 3.32. Proceso de pesaje de la porción de fibras para la elaboración de muestras.*



*Imagen 3.33. Proceso de pesaje de la porción de fibras para la elaboración de muestras.*

Posteriormente, se procede manualmente a mezclar los materiales distribuyendo las fibras de manera homogénea en la mezcla (imagen 3.34).





*Imagen 3.34. Proceso de mezclado de los materiales que conforman la muestra*

Se mezcla hasta que las fibras se hayan perdido dentro de la mezcla. La colocación de la fibra fue manual empapando las fibras con el ligante asfáltico, luego colocando las fibras en el centro de la bandeja y distribuyéndolas mediante movimientos circulares dentro del conjunto de áridos.

Cuando la mezcla esta lista, ésta se coloca en los moldes pre-calentados Marshall para realizar la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación. El martillo deberá estar caliente para no enfriar la superficie de la probeta al golpearla (imagen 3.35).



*Imagen 3.35. Proceso de llenado de moldes con la mezcla asfáltica.*

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Para el

presente estudio se emplearon 75 golpes por capas tomando en cuenta el diseño para tráfico pesado (imagen 3.36).



*Imagen 3.36. Proceso de compactación de briquetas.*

## CAPITULO IV

### 4. Elaboración de las muestras de SMA

#### 4.1. Criterios de diseño para elaboración de las muestras

Las muestras que se elaboraron fueron constituidas por materiales áridos que se encuentran en la provincia del Azuay, los cuales son utilizados para la elaboración de hormigón asfáltico en todas las plantas operativas de la zona. El asfalto a utilizarse es el que se produce en la refinería de Esmeraldas y se comercializa a todo el país, la fibra celulósica que se utiliza provino de las fibras de yute de agave americano o penco de la zona central del Ecuador.

Es importante que las muestras de asfalto sean lo más representativas posibles a lo que teóricamente se busca, se ha cuidado la provisión de áridos, el banco de procedencia de cada uno de ellos, el asfalto ligante tiene la calidad certificada de origen con sus características y todas las muestras han sido elaboradas en periodos sucesivos e inmediatos en tiempo utilizando el mismo banco de materiales, el mismo asfalto y las mismas fibras. Asimismo, la formulación será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final, es por eso que se ha cuidado de no utilizar materiales de procedencias o características complejas de conseguir en el Azuay.

El objetivo es buscar una formulación que pueda incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos utilizando el tipo SMA. Para llegar a este objetivo se fabricaron briquetas con distintas variaciones en su cuantificación y composición, para así construir briquetas con diferentes combinaciones. Los factores con los que se manipuló la formulación son:



1. Granulometría (3 diferentes franjas)
2. Cantidad de Asfalto (6.0%, 6.5% y 7%)
3. Dosificación de celulosa. 0.3%

Al combinar las variables:

- a. Se conforman 18 alternativas de diseño (18 posibles combinaciones de granulometrías y dosificaciones de fibra y asfalto).
- b. Se elaboran 3 briquetas por cada grupo de diseño
- c. Se elaboran briquetas sin fibra y con granulometría regular y se analizan según el método Marshall (hormigón asfáltico convencional) utilizando para ello los mismos áridos y asfalto de las muestras con el fin de comparar los resultados entre el método regular y el SMA. El total de briquetas alternativas es de 18 opciones con 3 briquetas por cada una de ellas, obteniéndose 54 briquetas (imagen 4.1).



*Imagen 4.1. 54 briquetas elaboradas con las 18 alternativas de diseño.*

- d. Con la alternativa de mejor resultado obtenido se procedió definir un nuevo grupo de diseño en el cual se puedan mejorar los resultados al colocar la mejor dosificación de asfalto y fibras.
- e. Se elaboran las 3 briquetas finales, las cuales se obtuvieron utilizando la granulometría 1, contenido de asfalto de 6.57% y adición de fibras de 0.35%, constituyendo la alternativa 19.

Se debe indicar que se fabricaron 2 briquetas adicionales en las cuales se mantuvieron las condiciones de la alternativa 19 incrementado la dosificación de fibras al 0,40%. Los resultados de estabilidad se redujeron, por lo que la alternativa 19 se definió como la opción más recomendable.

Los ensayos Marshall a los que se sometieron las briquetas se realizaron en condiciones y dentro de un periodo de tiempo similar. En las imágenes 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se observan procedimientos para los ensayos Marshall en las briquetas fabricadas.



*Imagen 4.2. Preparación de briquetas para ensayos Marshall.*



*Imagen 4.3 Control de temperatura en el baño de agua de briquetas para ensayo.*



*Imagen 4.4. Mediciones en briquetas de ensayo.*



*Imagen 4.5. Determinación de deformaciones y esfuerzos en briquetas.*

**4.2. Caracterización y dimensiones de los especímenes ensayados.****➤ Alternativa 1.**

- Briquetas No. 1, 2 y 3
- 6% de asfalto
- Granulometría 1
- Sin inclusión de fibras.

**➤ Alternativa 2.**

- Briquetas No. 19, 20 y 21
- 6.5% de asfalto
- Granulometría 1
- Sin inclusión de fibras.

**➤ Alternativa 3.**

- Briquetas No. 37, 38 y 39
- 7% de asfalto
- Granulometría 1
- Sin inclusión de fibras.

Las mediciones de las 9 briquetas están en la tabla 4.1.

*Tabla 4.1 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 1, 2 y 3.*

No. briqueta	% asfalto	Peso de muestra (g)			Volumen cm <sup>3</sup>
		Aire seco	Aire SSS	Agua	
1	6%	1091.0	1105.0	630.2	474.8
2	6%	1136.0	1150.0	655.5	494.5
3	6%	1012.0	1029.0	588.0	441.0
19	6.5%	989.0	991.0	574.5	416.5
20	6.5%	983.0	985.0	568.5	416.5
21	6.5%	1068.0	1072.0	610.0	462.0
37	7%	1117.0	1118.0	647.0	471.0
38	7%	1079.0	1080.0	624.5	455.5
39	7%	1204.0	1204.0	692.5	511.5

**➤ Alternativa 4.**

- Briquetas No. 10, 11 y 12
- 6% de asfalto
- Granulometría 1
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

**➤ Alternativa 5.**

- Briquetas No. 28, 29 y 30





- 6.5% de asfalto
- Granulometría 1
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

➤ **Alternativa 6.**

- Briquetas No. 46, 47 y 48
- 7% de asfalto
- Granulometría 1
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

Las mediciones de las 9 briquetas están en la tabla 4.2. Se debe indicar que estas briquetas corresponden a los equivalentes de las alternativas 1, 2 y 3 con la diferencia de que se elaboraron con inclusión de fibras.

*Tabla 4.2 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 4, 5 y 6.*

No. briketa	% Asfalto	Peso de muestra (g)			Volumen cm <sup>3</sup>
		Aire seco	Aire SSS	Agua	
10	6%	1127.0	1127.0	646.5	480.5
11	6%	1151.0	1151.0	657.5	493.5
12	6%	1004.0	1005.0	574.5	430.5
28	6.5%	1110.0	1064.0	589.9	474.1
29	6.5%	1160.0	1162.0	665.3	496.7
30	6.5%	1156.0	1158.0	662.0	496.0
46	7%	1034.0	1034.0	591.0	443.0
47	7%	1111.0	1111.0	629.0	482.0
48	7%	1133.0	1133.0	645.5	487.5

➤ **Alternativa 7.**

- Briquetas No. 4, 5 y 6
- 6% de asfalto
- Granulometría 2
- Sin inclusión de fibras

➤ **Alternativa 8.**

- Briquetas No. 22, 23 y 24
- 6.5% de asfalto
- Granulometría 2
- Sin inclusión de fibras

➤ **Alternativa 9.**

- Briquetas No. 40, 41 y 42
- 7% de asfalto
- Granulometría 2
- Sin inclusión de fibras





Para la elaboración de estas 9 briquetas se prescindió del uso de fibras, las dosificaciones de asfalto se mantienen y ahora se utiliza como variante a la granulometría 2. Las mediciones de las 9 briquetas están en la tabla 4.3.

*Tabla 4.3 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 7, 8 y 9.*

No. briketa	% Asfalto	Peso de muestra (g)			Volumen cm <sup>3</sup>
		Aire seco	Aire SSS	Agua	
4	6%	1081.0	1082.0	627.5	454.5
5	6%	1090.2	1092.0	619.2	472.8
6	6%	1126.0	1127.0	679.0	448.0
22	6.5%	1150.0	1152.0	674.0	478.0
23	6.5%	1144.0	1148.0	650.0	498.0
24	6.5%	1154.0	1156.0	631.2	524.8
40	7%	1096.0	1096.0	624.0	472.0
41	7%	1147.0	1147.0	645.0	502.0
42	7%	1134.0	1139.0	649.0	490.0

➤ **Alternativa 10.**

- Briquetas No. 13, 14 y 15
- 6% de asfalto
- Granulometría 2
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

➤ **Alternativa 11.**

- Briquetas No. 31, 32 y 33
- 6.5% de asfalto
- Granulometría 2
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

➤ **Alternativa 12.**

- Briquetas No. 49, 50 y 51
- 7% de asfalto
- Granulometría 2
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

Estas briquetas corresponden a los equivalentes de las alternativas 7, 8 y 9 con la diferencia de la inclusión de fibras para estas muestras. Los resultados de mediciones obtenidas se encuentran en la tabla 4.4.



Tabla 4.4. Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 10, 11 y 12.

No. briketa	% Asfalto	Peso de muestra (g)			Volumen (cm <sup>3</sup> )
		Aire seco	Aire SSS	Agua	
13	6%	1130.0	1152.0	636.0	516.0
14	6%	1033.0	1053.0	582.5	470.5
15	6%	973.0	993.0	551.0	442.0
31	6.5%	1044.0	1054.0	576.5	477.5
32	6.5%	1150.0	1161.0	642.5	518.5
33	6.5%	979.0	989.0	552.0	437.0
49	7%	1142.0	1146.0	630.0	516.0
50	7%	1020.0	1025.0	562.5	462.5
51	7%	1123.0	1127.0	626.5	500.5

➤ **Alternativa 13.**

- Briquetas No. 7, 8 y 9
- 6% de asfalto
- Granulometría 3
- Sin inclusión de fibras

➤ **Alternativa 14.**

- Briquetas No. 25, 26 y 27
- 6.5% de asfalto
- Granulometría 3
- Sin inclusión de fibras

➤ **Alternativa 15.**

- Briquetas No. 43, 44 y 45
- 7% de asfalto
- Granulometría 3
- Sin inclusión de fibras

Para la elaboración de estas 9 briquetas se utilizó la granulometría 4 y las mismas variaciones en contenido de asfalto, no se utilizaron fibras. Las mediciones de las 9 briquetas están en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativas 13, 14 y 15.

No. briketa	% Asfalto	Peso de muestra (g)			Volumen (cm <sup>3</sup> )
		Aire seco	Aire SSS	Agua	
7	6%	1010.0	1012.0	576.5	435.5
8	6%	1114.0	1116.0	627.5	488.5
9	6%	1045.0	1048.0	566.5	481.5
25	6.5%	1093.0	1094.0	621.5	472.5
26	6.5%	1090.0	1092.0	611.5	480.5
27	6.5%	1118.0	1121.0	623.5	497.5
43	7%	990.0	1004.0	548.5	455.5
44	7%	978.0	988.0	538.5	449.5
45	7%	1037.0	1048.0	572.5	475.5

➤ **Alternativa 16.**

- Briquetas No. 16, 17 y 18
- 6% de asfalto
- Granulometría 3
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

➤ **Alternativa 17.**

- Briquetas No. 34, 35 y 36
- 6.5% de asfalto
- Granulometría 3
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

➤ **Alternativa 18.**

- Briquetas No. 52, 53 y 54
- 7% de asfalto
- Granulometría 3
- Con inclusión de fibras a 0.3%.

Para estas alternativas se utiliza la granulometría 3 y corresponden a las contrapartes de las alternativas 13, 14 y 15 inclusión de fibras para estas muestras. Los resultados de mediciones obtenidas se encuentran en la tabla 4.6.

*Tabla 4.6 Mediciones en las briquetas elaboradas en alternativa 16.*

No MUESTRA	% ASFALTO	PESO DE MUESTRA (gr)			VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )
		Aire Seco	Aire SSS	AGUA	
16	6%	1088.0	1097.0	609.5	487.5
17	6%	1100.0	1119.0	618.5	500.5
18	6%	1041.0	1051.0	585.5	465.5
34	6.5%	980.0	999.0	556.0	443.0
35	6.5%	979.0	994.0	555.0	439.0
36	6.5%	1011.0	1026.0	569.0	457.0
52	7%	917.0	945.0	535.5	409.5
53	7%	1006.0	1032.0	582.5	449.5
54	7%	817.0	835.0	470.0	365.0

## CAPITULO V

### 5. Ensayos Marshall de las muestras

Una vez realizadas las mediciones los datos volumétricos de las briquetas se procede a efectuar el ensayo de estabilidad y flujo, con el objetivo de establecer el comportamiento de la mezcla asfáltica ante las cargas que puede soportar, definiendo numéricamente su capacidad de resistencia y de deformación. Dentro de las tablas de resultados de ensayos Marshall se observan algunos términos que se definen a continuación:



La **estabilidad** Marshall expresada en libras, es la fuerza máxima que soporta la briqueta ensayada en la prensa antes de producirse la falla o fractura de la misma.

El **flujo** Marshall expresado en pulg/100, representa la variación que ha sufrido el diámetro de la briqueta entre el momento de máxima carga y el instante inicial libre de carga.

El **dial** corresponde al dato de deformación en el manómetro indicador para el efecto; este valor se transforma en carga, al multiplicar este valor por la constante que tenga el anillo.

El **bulk** representa la gravedad específica de cada briqueta compactada y sin ensayar.

El **rice** representa la densidad teórica máxima de un asfalto suelto y se obtiene de la norma ASTM D 2041. Una vez que las briquetas fueron ensayadas en la prensa, se les disgregó para proceder con este ensayo.

Los **vacíos** representan la relación entre el bulk de una briqueta y el valor rice de la mezcla asfáltica disgregada, definiendo el porcentaje de vacíos que tiene un hormigón asfáltico de las características de la briqueta.

### 5.1. Granulometría 1, sin inclusión de fibras

En las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se observan los resultados de los ensayos Marshall a los cuales se sometieron las briquetas. A continuación, se gráfica el comportamiento de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos dentro de los ensayos a los cuales se sometieron las 9 briquetas, las cuales comparten la misma granulometría, no tienen inclusión de fibras y fueron elaboradas con contenidos de 6% en la alternativa 1, 6.5% en la alternativa 2 y 7% en la alternativa 3.

Tabla 5.1 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 1.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido (g)		Dial	F.C.	Libras	
1	2.298	2539	9.50%	150	1.00	1,445.76	23
2	2.297	2538	9.49%	120	1.09	1,154.50	25
3	2.295	2533	9.40%	130	1.32	1,251.58	24
<b>Prom.</b>	<b>2.297</b>	<b>2536.667</b>	<b>9.46%</b>			<b>1,283.9</b>	<b>24</b>

Tabla 5.2 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 2.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
19	2.375	2570	7.61%	195	1.47	1,882.65	26
20	2.360	2567	8.06%	185	1.47	1,785.56	26
21	2.312	2565	9.88%	180	1.19	1,737.02	27
<b>Prom.</b>	<b>2.349</b>	<b>2567.333</b>	<b>8.51%</b>			<b>1,801.7</b>	<b>26</b>



Tabla 5.3 Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 3.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
37	2.372	2547	6.89%	175	1.14	1,688.48	29
38	2.369	2551	7.14%	180	1.25	1,737.02	28
39	2.354	2553	7.80%	170	1.00	1,639.93	27
Prom.	2.365	2550.333	7.28%			1,688.5	28

En los gráficos 5.1, 5.2 y 5.3 se observan los comportamientos de las briquetas ensayadas en las alternativas 1, 2 y 3, con sus distintas dosificaciones de asfalto en relación a su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos respectivamente.

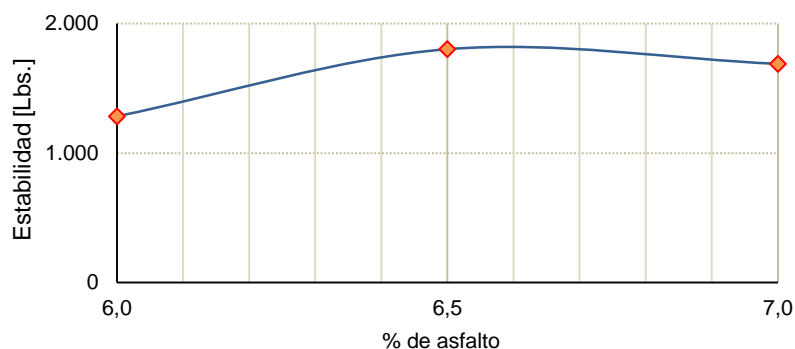


Gráfico 5.1 Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 1, 2 y 3.

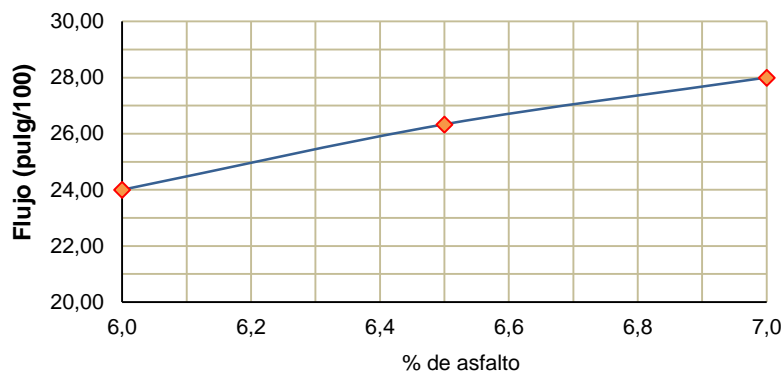


Gráfico 5.2. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 1, 2 y 3.



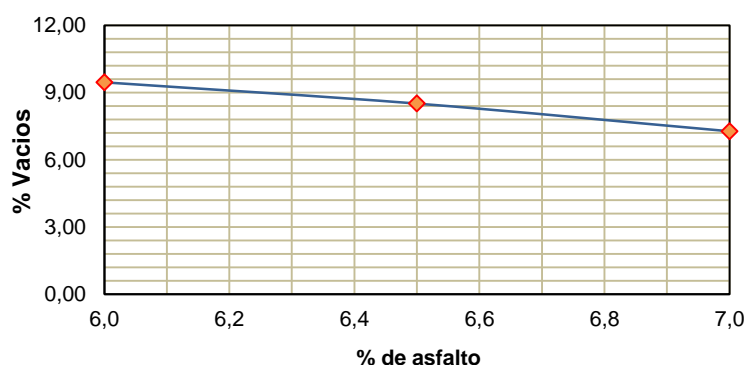


Gráfico 5.3. Porcentaje de asfalto – flujo. Alternativas 1, 2 y 3.

## 5.2. Granulometría 1 con la inclusión de fibras

Se analizan las tres alternativas con inclusión de fibras en un porcentaje de 0.3% en peso, en las tablas 5.4, 5.5 y 5.6 se observan los resultados de los ensayos Marshall a los cuales se sometieron las briquetas. A continuación, se gráfica el comportamiento de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos dentro de los ensayos a los cuales se sometieron las 9 briquetas, las cuales comparten la misma granulometría, la inclusión de fibras y fueron elaboradas con contenidos de 6% en la alternativa 4, 6.5% en la alternativa 5 y 7% en la alternativa 6.

En la tabla 5.5, se observa el comportamiento de la alternativa 5. Las briquetas consistieron en la combinación de granulometría 1 con inclusión de fibras y 6.5% de contenido de asfalto. Es aquí donde se obtuvieron los valores de estabilidad más elevados y los menores valores de flujo, por lo que se utilizó esta alternativa como base para elaborar las tres muestras definitivas que, con ciertas variaciones se elaboraron y se definirán como la recomendación de diseño definitivo; denominadas alternativa 19.

Tabla 5.4. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 4.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
10	2.345	2539	7.62%	280	1.14	2,707.89	15
11	2.332	2538	8.14%	275	1.09	2,659.35	14
12	2.332	2533	8.11%	280	1.39	2,707.89	15
Prom.	2.337	2536.667	7.96%			2,691.7	15

Tabla 5.5. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 5.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
28	2.341	2570	8.90%	315	1.19	3,047.70	16
29	2.335	2568	9.06%	310	1.04	2,999.16	17
30	2.331	2560	8.96%	315	1.67	3,047.70	17
Prom.	2.336	2566.000	8.97%			3,031.5	17



Tabla 5.6. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 6.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
37	2.334	2550	8.47%	290	1.32	2,804.98	18
38	2.305	2540	9.25%	295	1.14	2,853.52	19
39	2.324	2538	8.43%	280	1.09	2,707.89	20
Prom.	2.321	2542.667	8.72%			2,788.8	19

En los gráficos 5.4, 5.5 y 5.6 se observan los comportamientos de las briquetas ensayadas en las alternativas 4, 5 y 6, con sus distintas dosificaciones de asfalto en relación a su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos respectivamente.

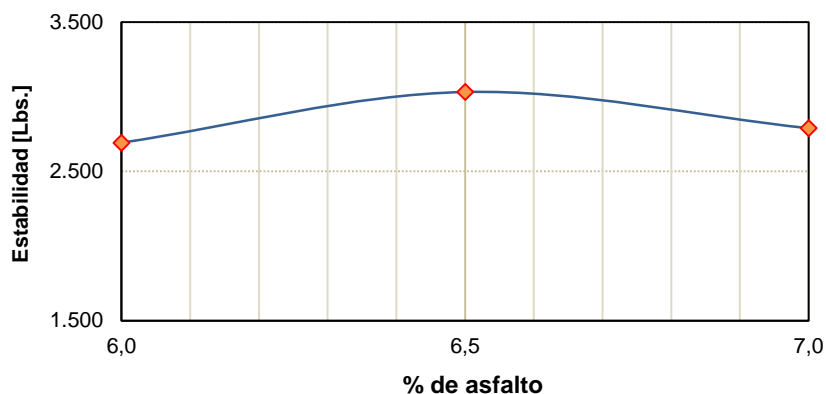


Gráfico 5.4. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 4, 5 y 6.

En el gráfico 5.4 se observa que la curva del porcentaje de asfalto que generaría los valores más elevados de estabilidad estaría levemente sobre 6,5%. Para el ajuste definitivo, los tres especímenes finales se elaboraron con un contenido de 6,57% de asfalto, buscando alcanzar los valores de estabilidad máximos.

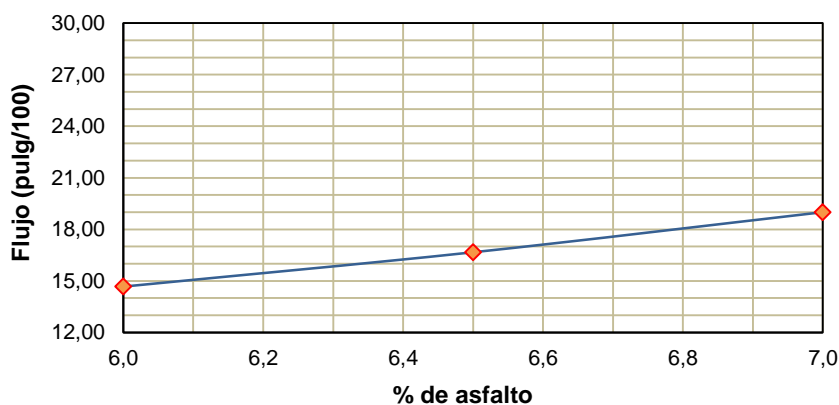


Gráfico 5.5. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 4, 5 y 6.

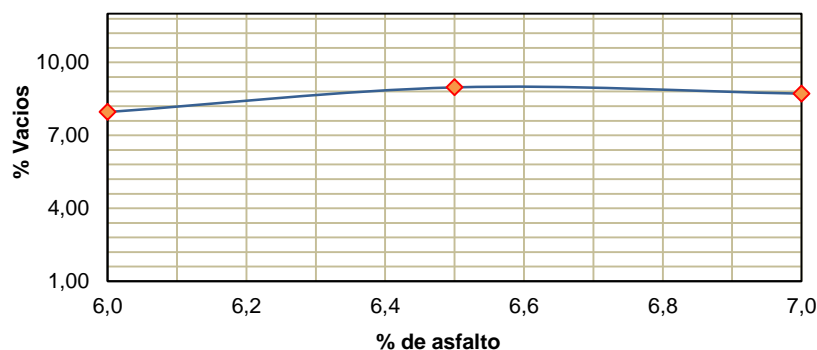


Gráfico 5.6. Porcentaje de asfalto - % de vacíos. Alternativas 4, 5 y 6.

### 5.3. Granulometría 2 sin la inclusión de fibras

En las tablas 5.7, 5.8 y 5.9 se observan los resultados de los ensayos Marshall a los cuales se sometieron las 9 briquetas, correspondientes a las alternativas 7, 8 y 9 respectivamente, las cuales comparten la granulometría 2, sin la inclusión de fibras.

Tabla 5.7. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 7.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
4	2.378	2540	6.36%	225	1.25	2,173.91	19
5	2.306	2528	8.79%	210	1.47	2,028.28	17
6	2.513	2710	7.25%	235	1.39	2,271,00	21
<b>Prom.</b>	<b>2.399</b>	<b>2592.667</b>	<b>7.47%</b>			<b>2,157.7</b>	<b>19</b>

Tabla 5.8. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 8.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
22	2.406	2592	7.18%	205	0.83	1,979.74	24
23	2.297	2445	6.05%	185	1.04	1,785.56	22
24	2.199	2389	7.96%	215	1.04	2,076.83	23
<b>Prom.</b>	<b>2.301</b>	<b>2475.333</b>	<b>7.06%</b>			<b>1,947.4</b>	<b>23</b>

Tabla 5.9. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 9.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
40	2.322	2479	6.33%	175	1.14	1,688.48	24
41	2.285	2478	7.79%	170	1.04	1,639.93	23
42	2.314	2479	6.64%	180	1.09	1,737.02	24
<b>Prom.</b>	<b>2.307</b>	<b>2478.667</b>	<b>6.92%</b>			<b>1,688.5</b>	<b>24</b>



En los gráficos 5.7, 5.8 y 5.9, se observan los comportamientos de las briquetas ensayadas en las alternativas 7, 8 y 9, con sus distintas dosificaciones de asfalto en relación a su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos respectivamente.

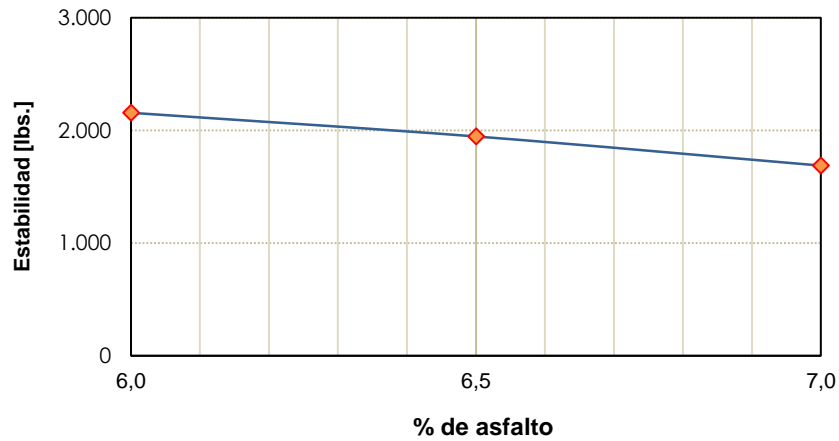


Gráfico 5.7. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 7, 8 y 9.

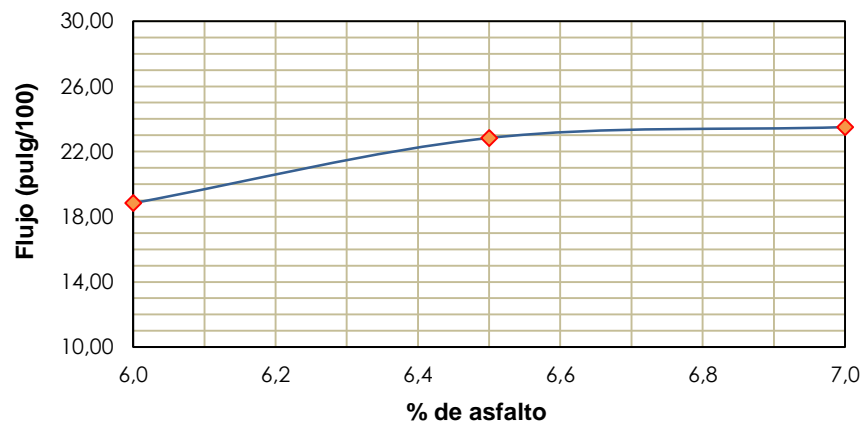


Gráfico 5.8. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 7, 8 y 9.

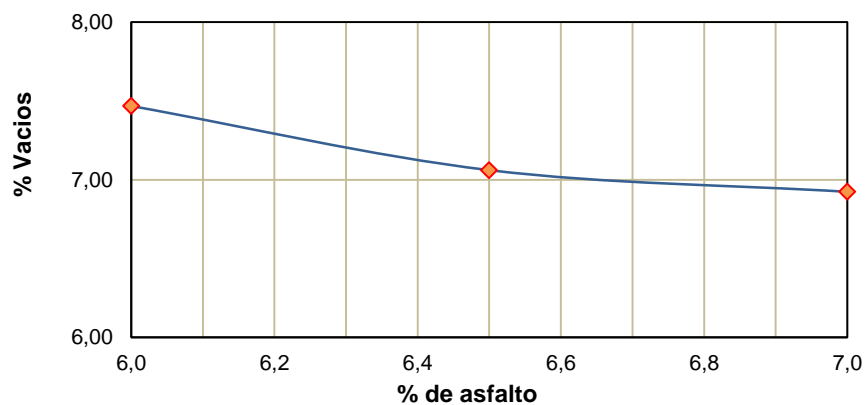


Gráfico 5.9. Porcentaje de asfalto – % de vacíos. Alternativas 7, 8 y 9.



#### 5.4. Granulometría 2 con la inclusión de fibras

Utilizando la granulometría 2, y con contenidos de asfalto de 6%, 6.5% y 7%, se elaboraron 9 briquetas las cuales corresponden a las alternativas 10, 11 y 12 respectivamente. A estas briquetas se les añadió fibras en 0.3%. Los resultados de los ensayos de estas 9 briquetas se observan en las tablas 5.10, 5.11 y 5.12.

Tabla 5.10. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 10.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
13	2.190	2410	9,13%	130	1,00	1,251.58	23
14	2.196	2390	8,14%	135	1,19	1,300.13	22
15	2.201	2374	7,27%	145	1,32	1,397.21	22
<b>Prom.</b>	<b>2.196</b>	<b>2391,333</b>	<b>8,18</b>			<b>1,316.3</b>	<b>22</b>

Tabla 5.11. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 11.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
31	2.186	2350	6.96%	145	1.14	1,397.21	24
32	2.218	2358	5.94%	160	1.00	1,542.84	24
33	2.240	2397	6.54%	140	1.32	1,348.67	24
<b>Prom.</b>	<b>2.215</b>	<b>2368.333</b>	<b>6.48%</b>			<b>1,429.6</b>	<b>24</b>

Tabla 5.12. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 12.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
49	2.213	2356	6.06%	165	1.00	1,591.39	25
50	2.205	2340	5.75%	160	1,19	1,542.84	25
51	2.244	2370	5.33%	150	1.04	1,445.76	25
<b>Prom.</b>	<b>2.221</b>	<b>2355.333</b>	<b>5.71%</b>			<b>1,526.7</b>	<b>25</b>

En los gráficos 5.10, 5.11 y 5.12 se representa el comportamiento de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos respectivamente de los ensayos a los cuales se sometieron las alternativas 10,11 y 12, las cuales comparten la misma granulometría, la inclusión de fibras y fueron elaboradas con variaciones de asfalto de 6%, 6.5% y 7%.



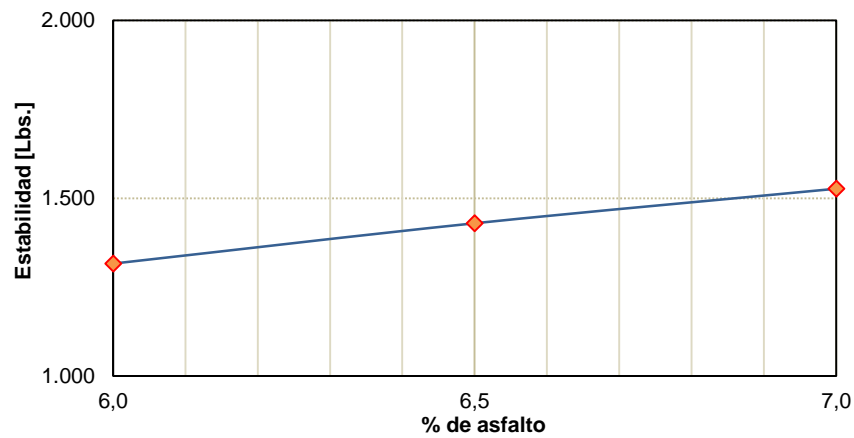


Gráfico 5.10. Porcentaje de asfalto – Estabilidad. Alternativas 10, 11 y 12.

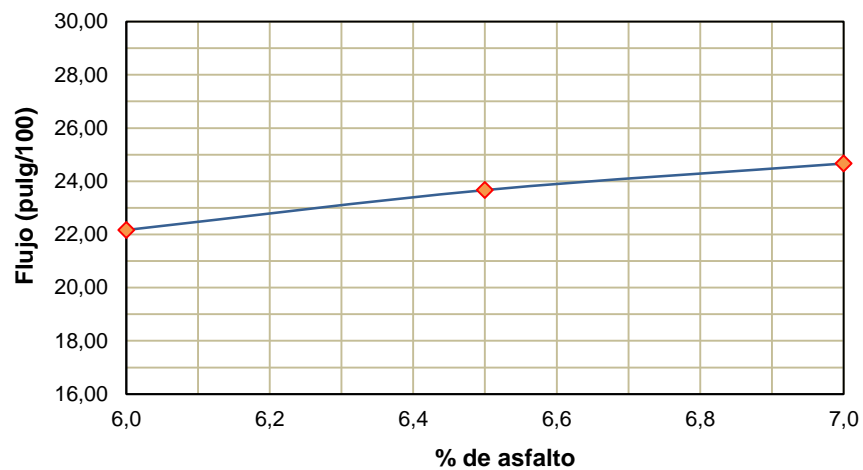


Gráfico 5.11. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 10, 11 y 12.

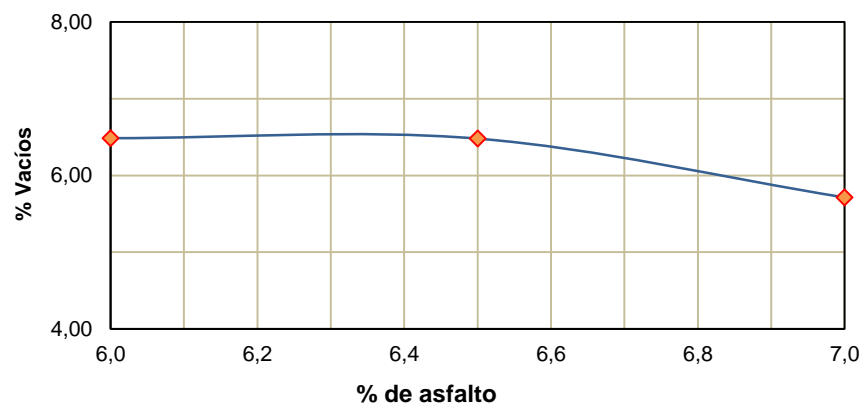


Gráfico 5.12. Porcentaje de asfalto – % de vacíos. Alternativas 10, 11 y 12.

**5.5. Granulometría 3 sin la inclusión de fibras**

En las tablas 5.13, 5.14 y 5.15 se observan los resultados de los ensayos Marshall a los cuales se sometieron las briquetas de las alternativas 13, 14 y 15, las cuales utilizaron la granulometría 3 sin inclusión de fibras y con contenidos de asfalto de 6%, 6.5% y 7%.

*Tabla 5.13. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 13.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
7	2,319	2410	3,77%	170	1,32	1.639,93	16,5
8	2,280	2390	4,58%	180	1,09	1.737,02	17,0
9	2,170	2368	8,35%	180	1,14	1.737,02	16,5
<b>Prom.</b>	<b>2,257</b>	<b>2389,333</b>	<b>5,57</b>			<b>1704,7</b>	<b>16,7</b>

*Tabla 5.14. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 14.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
25	2.313	2420	4.41%	190	1.14	1,834.11	17.0
26	2.268	2402	5.56%	185	1.14	1,785.56	18.0
27	2.247	2350	4.37%	180	1.04	1,737.02	18.0
<b>Prom.</b>	<b>2.276</b>	<b>2390.667</b>	<b>4.78%</b>			<b>1,785.6</b>	<b>17.7</b>

*Tabla 5.15. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 15.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
43	2,173	2320	6,32%	170	1,25	1.639,93	19
44	2,176	2333	6,74%	165	1,25	1.591,39	19
45	2,181	2345	7,00%	160	1,14	1.542,84	20
<b>Prom.</b>	<b>2,177</b>	<b>2332,667</b>	<b>6,69</b>			<b>1591,4</b>	<b>19</b>

En los gráficos 5.13, 5.14 y 5.15 se representa el comportamiento de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos dentro de los ensayos a los cuales se sometieron las 9 briquetas, las cuales comparten la misma granulometría y que fueron elaboradas con contenidos de 6% en la alternativa 13, 6.5% en la alternativa 14 y 7% en la alternativa 15.

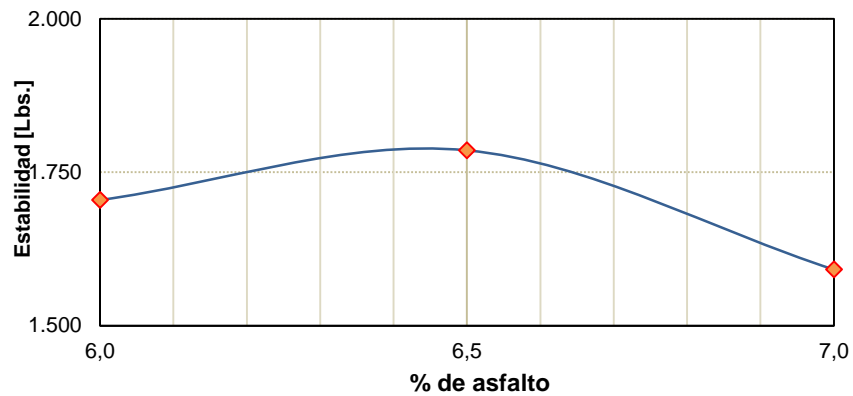


Gráfico 5.13. Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 13, 14 y 15.

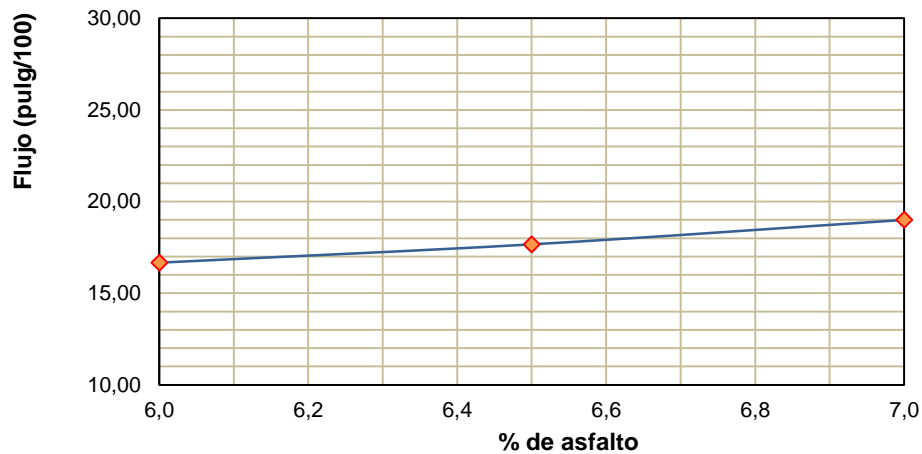


Gráfico 5.14. Porcentaje de asfalto – Flujo. Alternativas 13, 14 y 15.

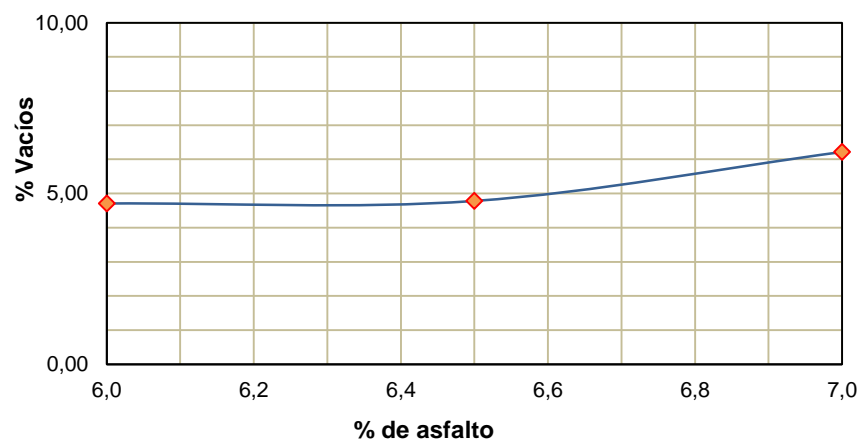


Gráfico 5.15. Porcentaje de asfalto – % de Vacíos. Alternativas 13, 14 y 15.

**5.6. Granulometría 3 con la inclusión de fibras**

Se adiciona fibra en un porcentaje de 0.3% en peso, en las tablas 5.16, 5.17 y 5.18 se observan los resultados de los ensayos Marshall a los cuales se sometieron las briquetas de las alternativas 16, 17 y 18, las cuales se elaboraron con la granulometría 3 y contenido de asfalto de 6% en la alternativa 16, 6.5% en la alternativa 17 y 7% en la alternativa 18.

*Tabla 5.16. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 16.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
16	2,232	2410	7,39%	130	1,09	1.251,58	17,0
17	2,198	2440	9,93%	115	1,00	1.105,95	18,0
18	2,236	2438	8,27%	120	1,14	1.154,50	17,0
<b>Prom.</b>	<b>2,222</b>	<b>2429,333</b>	<b>8,53</b>			<b>1170,7</b>	<b>17,3</b>

*Tabla 5.17. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 17.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
34	2,212	2395	7,63%	125	1,19	1.203,04	18
35	2,230	2380	6,30%	115	1,25	1.105,95	18
36	2,212	2360	6,26%	130	1,19	1.251,58	19
<b>Prom.</b>	<b>2,218</b>	<b>2378,333</b>	<b>6,73</b>			<b>1186,9</b>	<b>18,3</b>

*Tabla 5.18. Resultados en las briquetas elaboradas en alternativa 18.*

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo (pulg/100)
	Bulk Briq.	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
52	2,239	2350	4,71%	105	1,32	1.008,86	20
53	2,238	2350	4,76%	115	1,14	1.105,95	19
54	2,238	2335	4,14%	110	1,67	1.057,41	21
<b>Prom.</b>	<b>2,239</b>	<b>2345,000</b>	<b>4,54</b>			<b>1057,4</b>	<b>19,8</b>

En los gráficos 5.16, 5.17 y 5.18 se representa el comportamiento de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos respectivamente de los ensayos a los cuales se sometieron las alternativas 16,17 y 18, las cuales se elaboraron con la granulometría 3, inclusión de fibras al 0.3% y contenidos de asfalto de 6%, 6.5% y 7%.

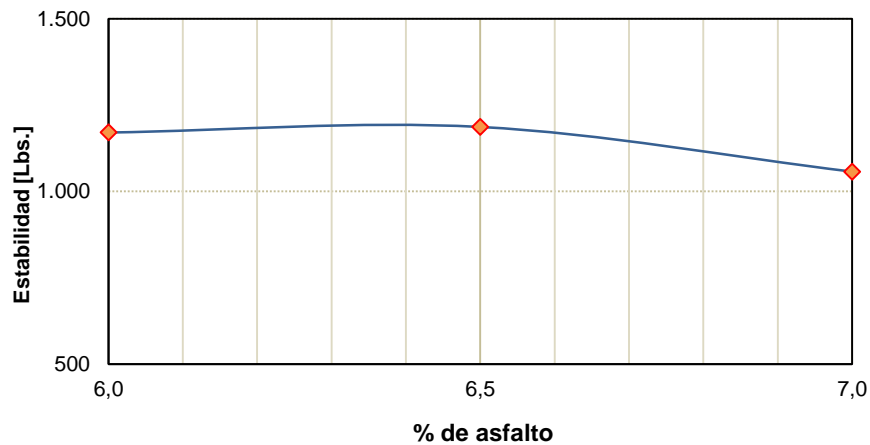


Gráfico 5.16. Porcentaje de asfalto - Estabilidad. Alternativas 16, 17 y 18.

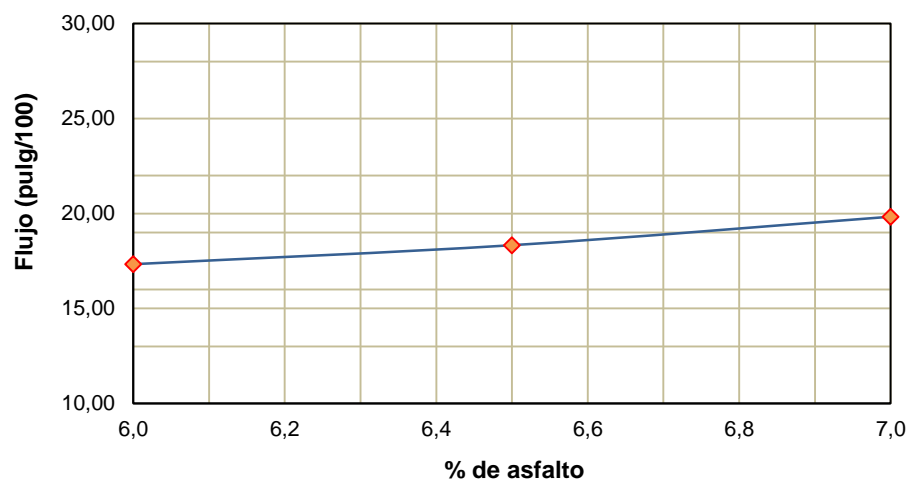


Gráfico 5.17. Porcentaje de asfalto - Flujo. Alternativas 16, 17 y 18.

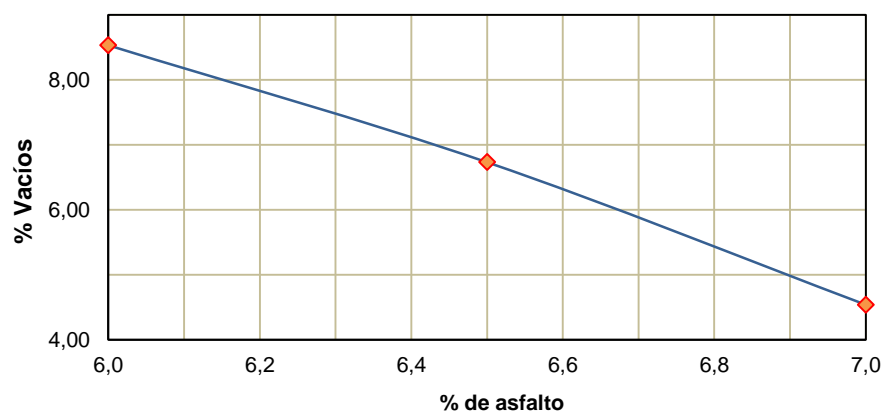


Gráfico 5.18. Porcentaje de asfalto - % de Vacíos. Alternativas 16, 17 y 18.





## CAPITULO VI

### 6. Propuesta de diseño definitiva y comparación con requerimientos de normativa internacional

#### 6.1. Determinación de diseño definitivo.

Una vez elaboradas las 54 briquetas con las 18 distintas alternativas de combinación de granulometría/asfalto/fibra y una vez ensayadas y analizados sus resultados se procedió a observar los siguientes particulares:

1. Los valores más altos de estabilidad se obtuvieron en las briquetas 28, 29 y 30, las cuales se elaboraron con la combinación de granulometría 1, 6,5% de contenido de asfalto y 0,3% de contenido de celulosa (tabla 5.5).
2. Los valores de flujo más bajo se obtuvieron las briquetas 10, 11 y 12, elaboradas con la granulometría 1, contenido de asfalto de 6% y 0,3% de contenido de celulosa (tabla 5.4).
3. Las briquetas con el menor porcentaje de vacíos fueron las muestras elaboradas con la granulometría 3, con un 7% de contenido de asfalto y 0,3% de contenido de fibras, correspondientes a la alternativa 18 (tabla 5.18), con un promedio de 4.54%.

Todas las briquetas elaboradas con la granulometría 3 fueron las menos porosas, presentando una superficie terminada lisa, lastimosamente los bajos resultados obtenidos en estabilidad y los altos valores de flujo que en ambos casos están fuera de los valores admisibles de la norma no pueden ser aceptables como una alternativa adecuada.

Los valores de flujo que se obtuvieron en todos los ensayos estuvieron por encima de los valores máximos permitidos por las normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador para los diseños de asfalto con criterios Marshall para tráfico pesado (MTOP, 2002), sin embargo los valores elevados de estabilidad en algunas de las alternativas, y basándonos en el criterio de la relación estabilidad/flujo o rigidez de la mezcla, se determinó que la alternativa 5 es la mejor opción para determinar una recomendación de diseño SMA.

La alternativa 5 (tabla 5.5) presentó los valores de estabilidad más elevados, sin embargo presentó también un valor promedio de vacíos de 8.97%, porcentaje superior al admisible de 4% de la norma SMA (Sarang, 2015) y superior al 6% máximo permitido por la norma Marshall (Invías, 2002). Por lo que basados en la experiencia en la elaboración de estas briquetas al observar que la fibra redujo el porcentaje de vacíos considerablemente se procedió a incrementar los contenidos de celulosa a 0.35% y 0.40% para la elaboración de nuevas briquetas.

Finalmente, en el gráfico 5.5 se observa que la curva de % de asfalto – estabilidad alcanza sus valores máximos de estabilidad con contenidos de asfalto levemente superiores a 6.5%, por lo que se procedió a incrementar el contenido de asfalto a 6.57% para buscar estabilidades más altas y aportar a una disminución del porcentaje de vacíos.

Se procedió a elaborar briquetas adicionales con las siguientes condiciones:

- Contenido de asfalto de 6.57%
- Contenido de fibras de 0.35% y 0.4%
- Utilización de la gradación de la granulometría 1.



Los ensayos Marshall de las briquetas con fibra a 0.4% presentaron una disminución importante en la estabilidad en comparación con las briquetas elaboradas con contenido de 0.35% de fibras y no aportaron con una reducción de vacíos representativa, por lo se desechó esta opción y se adoptó a la alternativa consistente en 0.35% de contenido de fibras, 6.57% de contenido de asfalto y granulometría 1 como la recomendación final de diseño, gracias a que se logró incrementar la estabilidad promedio a 3177.1 lbs y reducir el porcentaje de vacíos a 6.14%, en comparación con los valores de 3031.5 lbs de estabilidad y 8.97% de vacíos que se habían obtenido como mejores resultados en la alternativa 5 (tabla 5.5), constituida por las briquetas 28, 29 y 30.

Se define a esta opción como la alternativa 19, conformada por las briquetas 55, 56 y 57 y constituye la recomendación de diseño para la elaboración de hormigón asfáltico SMA con los materiales obtenidos en la región.

## 6.2. Comparación de parámetros obtenidos con normativas vigentes.

En la tabla 6.1 se observa la granulometría y dosificación para la elaboración de las muestras, en la tabla 6.2 se definen las propiedades físicas de las muestras, en la tabla 6.3 se indican los resultados de los ensayos obtenidos a las briquetas de la alternativa 19; en la tabla 6.4 se comparan los resultados obtenidos con los requerimientos de la normativa internacional SMA y en la tabla 6.5 se comparan los resultados con la normativa ecuatoriana vigente para mezclas asfálticas en caliente. Se debe indicar que la comparación de los ensayos de la alternativa 19 con los valores de la norma ecuatoriana no son equivalentes, debido a que la normativa ecuatoriana está basada en mezclas asfálticas en caliente diseñadas por el método Marshall y no se tienen establecidos valores para hormigones asfálticos SMA.

Tabla 6.1. Granulometría y dosificación en alternativa 19.

Agregados			Dosific. en % agregado
Tamiz	% Total	P.E. neto	
3/4	4.72	2.756	4.85
1/2	29.67	2.709	30.49
3/8	21.04	2.698	21.62
No. 4	22.25	2.653	22.87
No. 8	9.26	2.845	9.52
No. 200	3.80	2.845	3.91
Asfalto	6.57	1.02	6.75
<b>TOTAL</b>	<b>97.31</b>		<b>100.00</b>

Tabla 6.2. Propiedades físicas de las briquetas de alternativa 19.

Briqueta #	Pesos (g)			Volumen cm <sup>3</sup>
	Aire seco	Aire SSS	Agua	



<b>55</b>	1146.0	1105.0	652.0	453.00
<b>56</b>	1128.5	1115.0	648.0	467.00
<b>57</b>	1140.0	1130.0	665.0	465.00

Tabla 6.3. Resultados obtenidos en los ensayos Marshall de la alternativa 19.

Briqueta #	Densidad		Vacíos	Estabilidad			Flujo
	Bulk	Rice Medido		Dial	F.C.	Libras	
<b>55</b>	2.450	2595	5.59%	330	1.18	3.193.33	15
<b>56</b>	2.416	2585	6.52%	325	1.14	3.144.79	16
<b>57</b>	2.452	2574	4.75%	330	1.16	3.193.33	15

Tabla 6.4. Comparación de resultados con requerimientos de normativa SMA. (Sarang, 2015).

	Valores Obtenidos en alternativa 19	Valores admisibles según Normativa SMA
Contenido de asfalto (%)	6.57	Mínimo 5.8
Contenido de fibras (%)	0.35	0.3 – 0.4
Cont. de vacíos aire (%)	6.14%	Máximo 4
Vacíos en agregado mineral (VAM)	17.29	Mínimo 17

Tabla 6.5. Comparación de resultados con normativa ecuatoriana. (MTOP, 2002).

	Valores Obtenidos en alternativa 19	Valores admisibles según Normativa MTOP - 001-F 2002 (Tráfico pesado)
Estabilidad promedio (lb)	3177.1	> 1800
Flujo promedio (pulg/100)	15.33	8 - 14
Cont. de vacíos aire (%)	6.14%	3 - 5
Vacíos en agregado mineral (VAM)	17.29	Mínimo 16
Vacíos llenos con asfalto (VFA)	64.49	65 - 75

Dentro de la normativa del MTOP los resultados obtenidos con la alternativa 19 incumplen los parámetros de flujo y de contenido de vacíos de aire. Es importante señalar que la especificación del MTOP radica en el análisis del comportamiento de un hormigón asfáltico de diseño Marshall regular y no un SMA.

El parámetro de flujo es un criterio importante que indica que tan flexible sería una carpeta asfáltica y su sensibilidad a las deformaciones, donde un alto valor de flujo indica un asfalto más flexible. De



la misma forma los valores de estabilidad alta implican una mezcla asfáltica más resistente; estos dos valores en los diseños tradicionales normalmente se contraponen o son en alguna medida inversamente proporcionales provocando que una mezcla de alto flujo y flexibilidad tenga baja resistencia a la carga y de la misma manera una mezcla con alta resistencia (estabilidad) y flujo bajo presente demasiada rigidez, lo que le vuelve frágil a los esfuerzos cortantes. No es conveniente una mezcla rígida ni demasiado flexible, en ambos casos la vida útil de la calzada disminuiría considerablemente y la durabilidad de la misma se comprometería. Es por ello que en el diseño Marshall se buscan valores intermedios que ofrezcan un comportamiento lo suficientemente flexible (flujo) pero a la vez los suficientemente resistente (estabilidad).

Al analizar los resultados de los ensayos en SMA se obtienen valores elevados de estabilidad y flujo, lo que indica que los SMA no se comportan como los diseños regulares Marshall, sino permiten flexibilidades a altas resistencias, para esta determinación incluiremos a continuación el criterio de la Rigidez Marshall.

Se define a la **Rigidez Marshall**, como la relación entre la estabilidad obtenida y el flujo de una misma muestra, para determinar el comportamiento dúctil o frágil que podía tener un hormigón asfáltico que se someta a ciclos de carga; con esto se determina si el hormigón asfáltico tendría problemas de ahuellamiento debido a demasiada ductilidad o de aparición de fisuras debido a rigidez excesiva. Este criterio de rigidez o relación estabilidad/flujo y otros condicionantes de comportamiento de hormigón asfáltico de carreteras vienen especificados en la Norma Colombiana, de donde se extrae la tabla 6.6.

Tabla 6.6. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall (Invías, 2002).

Características		Norma ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
			Categoría de tránsito			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)		E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75
Estabilidad mínima (N)			5.000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15.000
Flujo (mm) (Nota 2)			2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0
Relación Estabilidad / Flujo (KN/mm)			2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-
Vacíos con aire (Va),% (Nota3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13			-
	T. Máx. 25 mm		14			14
	T. Máx. 19 mm		15			-
	T. Máx. 10 mm		16			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %		E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75
Relación Llenante / Ligante efectivo, en peso		E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4
Concentración de llenante, valor máximo		E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey		-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo µm		E-741	7,5			



Del análisis de los resultados obtenidos en la Alternativa 19 (Ver tabla 6.5)

Estabilidad promedio en Alternativa 19: 3,177.1 lbs (14,132.45 N).

Flujo Promedio en Alternativa 19: 15.33 pulg/100 (3.89 mm)

$$Rigidez\ Marshall = \frac{14.132}{3.89} = 3.63\ kN/mm$$

Dentro de los valores obtenidos en los ensayos a los que se sometieron las briquetas de la alternativa 19 y comparándolos con los valores de la tabla 6.6. en la franja NT3 (correspondiente a tráfico pesado) se obtiene:

$$Flujo = 15.33\ pulg/100 = 3.89\ mm > 3.5\ mm \quad (\text{no cumple})$$

$$Porcentaje\ de\ vacíos = 6.14\% > 3 - 5\% \quad (\text{no cumple})$$

$$Vacíos\ en\ agregados\ minerales\ (VAM) = 17.286\% > 14\% \quad (\text{cumple})$$

$$Vacíos\ llenos\ de\ asfalto\ (VFA) = 64.5\% \quad De\ 65\ a\ 75 \quad (\text{cumple})$$

En la ecuación de flujo se observa que los valores obtenidos se encuentran por encima de los valores de la norma, sin embargo, dentro de la misma norma se señala la posibilidad de que el flujo pueda estar entre (3.0 a 5.3) si es que la mezcla asfáltica fue elaborada con asfaltos modificados por polímeros, sin embargo, se recalca que el requisito de que la rigidez Marshall debe mantenerse dentro de los rangos. (Invías, 2002) .

En la ecuación de porcentaje de vacíos se observa que el rango admisible es de 3 – 5% según la normativa del MTOP y de 4 - 6 % para tráfico alto según la tabla 6.6. En el caso de las briquetas ensayadas en la alternativa 19 se obtuvo un resultado de valor de 6.14%, el cual está fuera del intervalo, concluyendo que esta alternativa no sería recomendable para capa de rodadura, pero admisible si es que se lo construye como carpeta intermedia en donde el rango admitido en la tabla 6.6 es de 4 – 7%. Sin embargo, debemos señalar que al no existir una normativa en el Ecuador para las mezclas tipo SMA, las comparaciones de resultados son meramente didácticas.

### 6.3. Durabilidad de los asfaltos SMA elaborados con materiales locales.

La durabilidad de una carpeta asfáltica se define como la capacidad de la estructura de rodamiento de prestar el servicio adecuado para el tráfico vehicular por el mayor tiempo posible. Dentro del diseño Marshall el número de años de servicio es un valor que nos indica que el asfalto elaborado con una fórmula maestra determinada (granulometría, carga solicitada, contenido de asfalto, etc.) entregará un servicio adecuado por un tiempo determinado para luego poder ser mantenido, rehabilitado o mejorado según se requiera.





El criterio de durabilidad de una carpeta asfáltica se define como la resistencia de la misma a sufrir alteraciones estructurales que alteren su capacidad de servicio. La durabilidad o resistencia a la fatiga determina que tan resistente es una carpeta asfáltica y sus componentes ante las solicitudes de carga y agente climáticos a lo largo del tiempo.

Las carpetas elaboradas con hormigón asfáltico presentan degradaciones a lo largo de su vida útil, siendo las principales la deformación permanente (roderas o canales), la fisuración por fatiga (repeticiones de carga) y la fisuración térmica (extremos de temperatura ambiental). Estas degradaciones generan una reducción de la vida útil del pavimento afectando su durabilidad, así como problemas a nivel de la seguridad y del confort. La disminución de la vida útil tiene repercusiones importantes en los costos de mantenimiento, ya que la frecuencia y severidad de las degradaciones aumenta (Flores, Alamilla, Anguas, & García, 2006).

La fisuración por fatiga significa en el agrietamiento de la carpeta asfáltica, inducido por aplicaciones repetidas de carga a un nivel de esfuerzo o deformación por debajo de la resistencia última del material (Sanchez Sabogal, 2005). La resistencia del material es un factor directamente involucrado con la estabilidad del ensayo Marshall, la cual expresa la capacidad de carga que tendría el hormigón asfáltico.

La **Estabilidad** es la capacidad que tiene un pavimento de soportar las cargas vehiculares repetidas. Un hormigón asfáltico “estable” presenta una resistencia adecuada para mantener su forma ante las solicitudes de carga. Para determinar una estabilidad adecuada es necesario considerar que mientras más altos son los valores de resistencia, el hormigón asfáltico tiende a comportarse rígido, un hormigón asfáltico rígido se vuelve frágil ante la desintegración del agregado y el asfalto.

La capacidad de deformación de un hormigón asfáltico dentro de los criterios Marshall se expresa mediante el **Flujo**, a menor flujo el asfalto se comporta más rígido, y cuando el flujo se eleva se indica que existe mayor flexibilidad. De la misma forma, un flujo excesivo implica una susceptibilidad a las deformaciones permanentes o presencia de roderas.

La relación entre la estabilidad y el flujo entrega un resultado denominado Rigidez Marshall, el cual al encontrarse dentro de valores admisibles (ver tabla 6.6), indica lo adecuado del diseño.

Para establecer criterios de durabilidad en hormigones asfálticos es necesario diferenciar que existen criterios de diseño y criterios constructivos que permiten llegar a los objetivos adecuados. Si el diseño es defectuoso no serviría una correcta puesta en obra y de la misma forma si al realizar ensayos Marshall para el diseño se logran valores adecuados es muy importante que la colocación de la carpeta asfáltica en obra sea óptima.

Más allá de los valores obtenidos de Estabilidad y Flujo existen criterios que definan la durabilidad de una carpeta colocada en obra, estos criterios se describen en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Causas y efectos para la poca durabilidad en mezclas asfálticas. (Araiza Armenta, 2002)

Poca Durabilidad	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido a diseño o la falla de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.



Al analizar el diseño de la alternativa 19, el comportamiento de los ensayos Marshall para la elaboración del SMA y compararlo con los criterios anteriores y la tabla 6.7, se obtienen los siguientes criterios.

- El contenido de asfalto en el diseño es alto, por lo que las carpetas asfálticas no envejecerán ni se endurecerán rápidamente, ya que las películas espesas de asfalto se comportan mejor que las películas delgadas.
- El contenido de vacíos de la alternativa 19 es alto (6.14% versus un admisible de 5%), sin embargo, este parámetro puede mejorarse con la inclusión de una mayor cantidad de filler o incrementando la carga de compactación, por lo que este parámetro puede ser controlado en el diseño y en la mecánica de colocación en obra. Cabe recalcar que las fibras utilizadas fueron artesanales, en el caso de utilizarse fibras sintéticas y especializadas los valores de vacíos bajarían considerablemente según los diseños internacionales que utilizan fibra sintética.
- Los agregados utilizados para la elaboración del SMA no son susceptibles al agua, los valores obtenidos en el ensayo de absorción entregan valores de: 1.345% para agregado de 3/4", 1.42% para agregados de 1/2", y 1.283% para agregados de tamaño de 3/8". La normativa internacional coloca como límite el 2% por lo que los agregados no presentarían problemas en este sentido.

Adicionalmente existen ensayos directos para establecer la durabilidad de carpeta asfáltica en el sentido de medir la fatiga en distintos puntos, algunos de estos ensayos son:

- A) Pruebas que tienden a evaluar la vida respecto de la iniciación del agrietamiento:
  - Flexión simple.
  - Carga directa axial.
  - Carga diametral.
- B) Pruebas que tienden a evaluar la resistencia de la mezcla a la propagación de grietas:
  - Flexión soportada.
  - Mecánica de las fracturas.
- C) Determinación de la resistencia a la fatiga mediante el ensayo de flexión repetida sobre vigas cargadas en los tercios.
- D) Ensayo cíclico de tensión indirecta para determinar la resistencia a la fatiga.

Los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall al que se sometieron las muestras y el cual fue la base de diseño, no contempla los ensayos de carpetas colocadas en el campo, por lo que los criterios de durabilidad que se utilizan como concluyentes en el presente estudio provienen de los resultados obtenidos en estabilidad y flujo, los cuales pueden brindar parámetros adecuados para generar criterios de durabilidad.

En la alternativa 19, el valor correspondiente rigidez Marshall es:

$$\text{Rigidez Marshall} = \frac{\text{Estabilidad}}{\text{Flujo}} = \frac{14.132}{3.89} = 3.63 \text{ kN/mm}$$



En el diseño Marshall proporcionado por la Asfaltar EP, el valor correspondiente a la rigidez Marshall es:

$$\text{Rigidez Marshall} = \frac{\text{Estabilidad}}{\text{Flujo}} = \frac{12.366}{3.45} = 3.58 \text{ kN/mm}$$

El valor admisible para rigidez Marshall se encuentra descrito en la tabla 6.6, permite valores admisibles de Rigidez Marshall de 3.00 – 6.00 kN/mm. (Invías, 2002). Con este análisis las alternativas se encuentran dentro de los rangos permitidos.

Recordando que el criterio de Estabilidad define la resistencia a las cargas y tomando en cuenta que el flujo no afecta la rigidez Marshall se concluye que, bajo el criterio de estabilidad la mezcla de la alternativa 19 es 14% más estable que el diseño regular, por lo que la resistencia sería mayor y por ende soportaría más ciclos de carga sin presentar deformaciones, ya que el flujo elevado le permite contrarrestar una posible sobre rigidez. Un hormigón asfáltico que trabaja en función directa de sus ciclos de carga sería más durable que un hormigón con resistencia de carga menor.

El pavimento SMA ha demostrado ser una mezcla dura, estable y resistente al ahuellamiento para su uso en condiciones de tráfico intenso. Con su contacto piedra sobre piedra y mortero con suficiente asfalto, las mezclas de SMA proporcionan resistencia y durabilidad para condiciones de pavimento exigentes. Estudios del gobierno alemán especifica que para tener un SMA con suficiente durabilidad, se requiere un rango mínimo de cemento asfáltico de 6.0% - 7.0%, lo cual se cumple en la presente investigación al establecer un requerimiento del 6.57% (NAPA, 2002).

En los SMA el aumento del agregado grueso incrementa el entrecruzamiento de los agregados y proporciona un mejor contacto piedra con piedra que sirve como mecanismo de transporte de carga y, por lo tanto, proporciona una mejor resistencia a la rodadura y durabilidad (Gite & Soyál Abjal Amrutvahini, 2014).

## CAPITULO VII

### 7. Análisis económico de alternativa definitiva y comparación con diseño Marshall tradicional

Una vez determinada la dosificación más adecuada dentro de las alternativas analizadas se procede a simular la producción de un hormigón asfáltico con estas características.

Para la determinación de los costos de producción del SMA se elaboró un análisis de precio unitario (APU). Este análisis de precio unitario es una tabla en la cual se cuantifican todos los agentes e insumos involucrados en la elaboración de una unidad determinada de hormigón asfáltico; se asignan valores económicos y rendimientos que nos permiten determinar el costo de 1 m<sup>3</sup> de hormigón asfáltico tipo SMA elaborado con materiales locales y compararlo con el costo de elaboración de 1 m<sup>3</sup> de hormigón asfáltico comercial que regularmente se elabora en la provincia del Azuay.

Los materiales con los que se elaboró nuestra muestra tienen la siguiente procedencia:

- Pasante de tamiz de 3/4" ó 19 mm (Minera VIPESA).
- Pasante de tamiz de 1/2" ó 12.5 mm (Constructora Rinomaq).
- Pasante de tamiz de 3/8" ó 9.5 mm (Minera VIPESA).
- Pasante de tamiz No. 4. (Minera VIPESA).



- Pasante de tamiz No. 8. (Minera VIPESA).
- Pasante de tamiz No. 200. (Minera VIPESA).

La cantidad utilizada para la elaboración de los materiales fue provista por las mineras anteriormente descritas. En el caso del material pasante de 1/2" y retenido en el 3/8" se recurrió a la constructora Rinomaq. Debido a que la porosidad de los materiales actualmente comercializados en el Azuay presentaba porosidades elevadas que salían del requerimiento mínimo de la normativa de diseño (Sarang, 2015). El material de la constructora Rinomaq está elaborado con áridos provenientes de la zona de Cochancay en Cañar y de canteras en el Cantón Durán en la provincia del Guayas y este material fue obtenido en la planta asfáltica de la empresa que se ubica en el cantón Girón, Azuay, provincia en la cual están ejecutando proyectos viales. Los certificados de la provisión de materiales se observan en el Anexo 2.

### 7.1. Costo de elaboración del hormigón tipo SMA

La elaboración en planta del hormigón asfáltico SMA no se ha realizado. Los ensayos presentados en esta tesis fueron elaborados en pequeña escala para la elaboración de briquetas; es por ello que para definir el precio unitario teórico de un metro cúbico de hormigón asfáltico tipo SMA se tomaron algunas consideraciones que diferenciarían a este hormigón asfáltico del tradicional, estas consideraciones son:

- Inclusión en el equipo de un aparato de insuflado de fibra celulósica para que esta sea colocada en el ligante mientras ingresa a la tolva para el mezclado con los áridos. El aparato de insuflado es un aspersor de celulosa que permitiría la adición de fibras en cantidades y flujos controlados.
- Inclusión de un peón que operaría el cañón de insuflado.
- Inclusión en los materiales de la fibra celulósica. En este caso yute de agave.
- El rendimiento de la elaboración del asfalto SMA se considera similar al asfalto regular, debido a que se considera que la inclusión y mezclado de las fibras en planta no afecta en ruta crítica al proceso regular de mezclado.

La fórmula maestra del hormigón comercial que se utilizó para la comparación de costos fue elaborada por la empresa Asfaltar y se detalla en el anexo 4. El análisis de precio unitario de esta mezcla asfáltica se describe en la tabla 7.1. Este hormigón asfáltico elaborado con AC-20, 6.6% de contenido de asfalto y tamaño máximo nominal de 3/4", contiene adicionalmente aditivo Zycotherm.

El hormigón SMA con el cual se establece el precio unitario descrito en la tabla 7.2 proviene de la alternativa 19 de los diseños propuestos en el presente estudio, el cual se estableció como la recomendación final de diseño.



Tabla 7.1. Análisis de precio unitario de producción de hormigón asfáltico comercial.

Costos directos de mezcla asfáltica en planta, TMN 3/4"					
<b>Equipo y herramienta</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Cargadora frontal 150 hp.	hora	1.0000	34.50	0.0333	\$ 1.15
Planta asfáltica 100 ton.	hora	1.0000	120.00	0.0333	\$ 4.00
Grupo generador 300 kilovatios.	hora	1.0000	30.00	0.0333	\$ 1.00
<u>Subtotal de Equipo:</u>					<u>\$ 6.15</u>
<b>Materiales</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Agregado D 3/4"	m3	0.3125	18.00		\$ 5.63
Asfalto tipo AC-20	Kg	125.0000	0.34		\$ 42.50
Agregado D 3/8"	m3	0.1250	18.00		\$ 2.25
Polvo de trituration	m3.	0.6250	18.00		\$ 11.25
Diésel 2	lts	13.0000	0.51		\$ 6.63
Aditivo zycotherm	KG	0.0600	32.50		\$ 1.95
Arena	m3	0.1875	18.00		\$ 3.38
<u>Subtotal de Materiales:</u>					<u>\$ 73.58</u>
<b>Mano de Obra</b>					
Descripción		Número	Salario/Hora	Rendim.	Total
Operador de cargadora frontal		1.0000	3.82	0.0333	\$ 0.13
Mecánico - soldador		0.3000	3.82	0.0333	\$ 0.04
Peón		3.0000	3.41	0.0333	\$ 0.34
Operador de planta de asfalto		1.0000	3.64	0.0333	\$ 0.12
<u>Subtotal de Mano de Obra:</u>					<u>\$ 0.63</u>
<b>Precio Unitario Total</b>					<b>\$ 80.36</b>

Tabla 7.2. Análisis de precio unitario de producción de hormigón asfáltico SMA.

costos directos de hormigón asfáltico SMA.					
<b>equipo y herramienta</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Cargadora frontal 150 hp.	hora	1,0000	\$ 34,50	0,0333	\$ 1,15
Planta asfáltica 100 ton.	hora	1,0000	\$ 120,00	0,0333	\$ 4,00
Máquina de insuflado de celulosa	hora	1,0000	\$ 30,00	0,0333	\$ 1,00
Grupo generador. 300 kilovatios.	hora	1,0000	\$ 30,00	0,0333	\$ 1,00
<u>Subtotal de equipo:</u>					<u>\$ 7,15</u>
<b>Materiales</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Agregado d 3/4"	m3	0,0480	\$ 18,00		\$ 0,86
Agregado d 1/2"	m3	0,3050	\$ 18,00		\$ 5,49
Agregado d 3/8"	m3	0,2160	\$ 18,00		\$ 3,89
Arena	m3	0,3230	\$ 18,00		\$ 5,81
Polvo de trituration	m3.	0,0390	\$ 18,00		\$ 0,70
Asfalto tipo ac-20	kg	124,0000	\$ 0,34		\$ 42,16
Diésel 2	lts	13,0000	\$ 0,51		\$ 6,63
Fibra celulosa	kg	9,4955	\$ 2,57		\$ 24,40
<u>Subtotal de materiales:</u>					<u>\$ 89,95</u>
<b>mano de obra</b>					
Descripción		Número	Salario/Hora	Rendim.	Total
Operador de cargadora frontal		1,0000	\$ 3,82	0,0333	\$ 0,13
Mecánico - soldador		0,3000	3,82	0,0333	\$ 0,04
Peón		4,0000	3,41	0,0333	\$ 0,45



Operador de planta de asfalto		1,0000	3,64	0,0333	\$ 0,12
Subtotal de mano de obra:					\$ 0,74
Precio unitario total					\$ 97,84

De los análisis de precios unitarios descritos en las tablas 7.1 y 7.2 se desprende:

- Costo directo de mezcla asfáltica en planta, TMN 3/4" (Asfaltar EP): **\$ 80.36**
- Costo directo de hormigón asfáltico SMA con fibra de agave: **\$ 97.84**

Estos valores no incluyen IVA ni gastos indirectos. así mismo no contemplan costos de almacenaje y transporte de materia prima hacia la planta asfáltica.

Como podemos observar, el costo del SMA eleva en \$17.48 (21.75%) en relación a la mezcla comercial elaborada por la empresa Asfaltar. Los costos de la fibra como material significan \$24.40 (\$2.57) por cada kg.

En la imagen 7.1 se observan fibras comerciales para elaboración de SMA. Las fibras de celulosa industrializada para SMA se distribuyen en otros países en costos de aproximadamente \$600.00 por cada tonelada (Longou fibers, 2017), lo que representa \$0.60 por cada kg de celulosa. Sustituyendo este valor y recalculando la tabla 7.2 se obtiene un valor de producción del SMA de \$79.14 por m<sup>3</sup> de mezcla el cual es inferior al costo de la mezcla de la tabla 7.1.



Imagen 7.1. Fibras industriales de SMA.

## CAPITULO VIII

### 8. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas luego del proceso de elaborar el hormigón asfáltico tipo SMA utilizando materiales locales y los resultados de los ensayos obtenidos en las 57 briquetas sometidas a los ensayos Marshall. Se estableció una alternativa viable que obtuvo los mejores resultados de ensayo, adicionalmente se realizó una comparación con una mezcla asfáltica diseñada con el método Marshall tradicional por un fabricante local, realizando una comparación económica de los posibles costos de elaboración del hormigón asfáltico tipo SMA y se lo compara



con el costo de la mezcla tradicional y finalmente se evaluó el comportamiento de la propuesta de diseño de tipo SMA al compararla con las normas de SMA. Finalmente se emiten criterios sobre la durabilidad de la alternativa basados en las propiedades físico-mecánicas de las muestras ensayadas y sus resultados es estabilidad y flujo. En la tabla 8.1 se observan los resultados más relevantes que se utilizan para establecer los criterios de resistencia de los hormigones asfálticos.

*Tabla 8.1. Tabla de resultados comparativos entre el método Marshall y SMA sin contenido de fibras y con contenido de fibras*

Ensayo Marshall Obtenido	Diseño SMA sin contenido de fibras (Alternativa 2)	Diseño regular Marshall de Empresa Asfaltar EP (Anexo 4)	Diseño SMA con contenido de fibras (Alternativa 19)
Estabilidad (lbs)	1801.70	2780	3177.1
Flujo (pulg/100)	26	13.6	15.33
% de Vacíos	8.51	4.30	6.14



## 8.1. Conclusiones

- Las composiciones geológicas y la ubicación de las canteras de la zona permiten encontrar materiales con propiedades acordes a la normativa de elaboración de SMA. Sin embargo, al tratarse de franjas granulométricas especiales es necesario tomar en cuenta la necesidad de contar con almacenajes de ciertos tamaños en mayor proporción que otros. En este caso las minas de Vipesa y Rinomaq fueron adecuadas.
- El proceso de obtención y preparación de las fibras celulósicas, así como el almacenaje y la deshidratación total de las fibras ha sido un proceso para el cual no está preparada la infraestructura de fabricación de hormigones asfálticos, por lo que el costo referencial de obtención de las fibras para este proceso fue elevado. No existe una demanda de fibra celulósica para estos procesos y la oferta de las fibras de yute de agave en el Azuay está supeditada únicamente a la producción de estucos. Las fibras celulósicas fueron obtenidas de manera artesanal y no se utilizaron las fibras especializadas SMA que existen en otros países las cuales son elaboradas en forma industrial y seguramente aportan características físico mecánicas y de almacenaje que aportarán al mejor comportamiento de la mezcla, especialmente en los parámetros de vacíos de agregado mineral (VAM) y porcentaje de vacíos, lo que permite concluir que al utilizar fibras especiales para la elaboración de SMA brindaría resultados satisfactorios según la norma.
- La producción de ligante asfáltico en gran escala en el Ecuador es de AC-20 únicamente, el cual están dentro de los parámetros deseados para la elaboración, sin embargo, sería interesante ensayar nuevas muestras que se elaboren con los asfaltos modificados que admite la normativa del SMA.
- El proceso de elaboración de las muestras tuvo que irse puliendo hasta adquirir una destreza permitió recrear de la manera más fiel el proceso de mezclado de ligante, agregados y fibra de tal manera que la mezcla que se obtenga sea la más homogénea posible. Las 57 briquetas analizadas son el resultado del procedimiento adecuado de adición de fibras a la mezcla; en un inicio se elaboraron aproximadamente 10 briquetas hasta que se definió la metodología más adecuada de mezclado que consistió en agregar la cantidad definida de fibras en el centro ya recubiertas de asfalto y posteriormente colocar la cantidad de ligante asfáltico restante en la mezcla con los áridos (Ver imagen 3.33).
- En el caso de que se intente replicar la producción a gran escala sería necesaria la utilización de un artefacto que pueda incluir las fibras en el proceso de fabricación del hormigón asfáltico de manera exacta, continua y fluida. De las conversaciones mantenidas con los técnicos de producción de la empresa Asfaltar se sugiere la utilización de una máquina de insuflado de celulosa que aporte las fibras en la tolva. Posiblemente con el uso de fibras industriales específicamente diseñadas para el objeto se podría adicionar las mismas mediante los accesorios de aditivación que contienen ciertas plantas asfálticas.
- De lo que se pudo observar en el ensayo de briquetas, efectivamente existe un mejor comportamiento de estabilidad con la adición de fibras. Se observó que las fibras cumplen un papel de espesar de la mezcla, la cual al no tener una graduación continua fácilmente se segrega enviando el agregado grueso al fondo.
- De las tres granulometrías analizadas, la que brindo los mejores resultados fue la granulometría 1, sus resultados a nivel de estabilidad y flujo son bastante aceptables y son estos parámetros los que inclinan a sugerir esta opción de franja, con la inclusión de fibras al 0.35% en peso. Además, es necesario indicar que se elaboraron 2 briquetas de prueba adicionales con 0.4% de dosificación de fibras y manteniendo los 6.57% de



contenido de asfalto, pero estas briquetas bajaron su estabilidad, por lo que la recomendación definitiva se basa en la inclusión de fibras al 0.35%.

- La rugosidad superficial o porosidad superficial de las briquetas elaboradas con la alternativa definitiva propuesta son elevadas, se nota claramente la presencia de agregado grueso en la superficie y la mezcla produce una apariencia de no estar cerrada (Ver imagen 4.4.). Se considera que característica provocaría que dentro de la normativa Marshall las briquetas se encuentren fuera del rango aceptable de porcentaje de vacíos y de VAM, se intuye que la inclusión de fibras especializadas podría mejorar estos factores, sin embargo, con la experiencia visual que se tiene del envejecimiento del SMA en obra se observa que los agregados no se desprenden y más bien la superficie tiende a pulirse. En el caso de que inmediatamente colocada la carpeta de tipo SMA se quiera mejorar la rugosidad y el acabado de la carpeta se podría optar por colocar un sello asfáltico que mejore las características de acabado. Posiblemente el hecho de que el SMA fue concebido para combatir con el efecto abrasivo y de punzonamiento que tenían las llantas de clavos de los años sesentas en Europa es el que le obliga a mantener agregado grueso en la superficie.
- En base a los criterios técnicos de evaluación de carpetas asfálticas tradicionales mediante el método Marshall, es una generalidad de que la estabilidad es inversamente proporcional al flujo, por lo que una mezcla de alta resistencia normalmente presenta un flujo tan bajo que le vuelve frágil. Este indicador de rigidez no se obtiene en los ensayos realizados a las briquetas elaboradas bajo el criterio SMA. Si bien es cierto, el flujo se mantiene fuera del límite superior admisible, la estabilidad es tan alta que bajo el criterio de rigidez Marshall las muestras elaboradas se aceptan bajo la norma.
- Los costos de producción del hormigón asfáltico tipo SMA elaborados en base a materiales locales resultaron superiores en un 21.75% en relación a la mezcla comercial elaborada por la empresa Asfaltar, lo que representaría costos importantes en un proyecto. Sin embargo, si se utilizan fibras comerciales los precios de la alternativa SMA resultarían más convenientes. Además, al basarnos las experiencias de durabilidad que las carpetas asfálticas SMA muestran en otros países, disminuirse costos en mantenimientos periódicos o rutinarios o incluso disminuir espesores. Esto último debe verificarse con el uso de SMA en proyectos viales. Además, al construirse un tramo de carpeta asfáltica se podrían ejecutar ensayos de durabilidad aplicados a la construcción, además sentar parámetros de compactación que nos permitan reducir en lo posible el contenido de vacíos en las carpetas asfálticas de tipo SMA.



## 8.2. Recomendaciones.

Se sugiere que se profundice la investigación de producción de fibras SMA para poder replicar fielmente las características físico mecánicas similares a las fibras que se producen en otros países de manera comercial.

Sería importante el aplicar la investigación de asfaltos tipo SMA a un tramo de vía que sirva como un piloto de análisis, y luego de su colocación y servicio se analice el comportamiento de dicha carpeta para poder establecer y afinar criterios de diseño que puedan utilizarse en el país.

El costo de las carpetas asfálticas mediante el método Marshall están inclinadas al criterio económico de costos de construcción. Si bien es cierto que el criterio de años de servicio es una variable de diseño, se debería realizar un levantamiento de información que permita recalcular los periodos de diseño efectivos que poseen las vías en el Ecuador. Dentro de este ambiente los hormigones asfálticos tipo SMA podrían obtener un valor agregado importante si es que en su construcción y periodo de vida útil permiten menores costos finales.

Finalmente es importante recalcar la necesidad de que en el Ecuador empiece a refinar las materias primas con las que cuenta naturalmente. Los recursos naturales del país en el caso del procesamiento de la celulosa no contemplan este tipo de industria la cual podría fácilmente desarrollar un potencial mercado a futuro.





## 9. BIBLIOGRAFIA.

- Araiza Armenta, J. A. (2002). *Manejo de planta de concreto asfáltico y construcción de carpeta*. Universidad de Sonora.
- Australian Asphalt Pavement Association. (2000). *Stone Mastic Asphalt, Design and Application Guide*, (4), 27.
- Austroroads. (2009). *Review of Stone Mastic Asphalt Design Concepts*. Sidney.
- Austroroads. (2013). *Development of Aspects of a Design Procedure for Stone Mastic Asphalt*. Sydney.
- Austroroads. (2016). Acerca de AUSTRORoads. Retrieved from <http://www.austroroads.com.au/about-austroroads/about-austroroads>
- Brown, E. R., Haddock, J. E., Mallick, R., & Lynn, T. a. (1997). Development of a Mixture Design Procedure for Stone Matrix Asphalt. *Proc. Association of Asphalt Paving Technologists*, 66(March), 1–24.
- Cáceres Morales, C. A. (2007). Diseño de mezclas asfálticas, Estado del Arte. *Diseño de Mezclas Asfálticas*, 33. Retrieved from [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/caceres\\_m\\_ca/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo1.pdf)
- Costa Hernandez, A. (2011). Mezclas en caliente, capas finas y ultrafinas. *Asfaltos Y Construcciones, ELSAN*.
- Diario Hoy. (2008, January 21). Vías quiteñas, pavimentadas con asfalto “barato.” *Diario Hoy*, p. 1. Retrieved from <http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/vias-quitenas-pavimentadas-con-asfalto-barato-287292.html>
- Diario La Hora. (2008, August 5). Analizan Asfalto Ecuatoriano. *Diario La Hora*, p. 1. Retrieved from [http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/755843/-1/Analizan\\_el\\_asfalto\\_ecuatoriano.html#.VLhPZnvj9MF](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/755843/-1/Analizan_el_asfalto_ecuatoriano.html#.VLhPZnvj9MF)
- E-ASPHALT. (2014). Stone Mastic Asphalt (SMA). Retrieved from <http://www.e-asphalt.com/sma/index.htm>
- Elicriso. (2010). El Agave. Retrieved from [http://www.elicriso.it/es/como\\_cultivar/agave/](http://www.elicriso.it/es/como_cultivar/agave/)
- Flores, M. F., Alamilla, H. D., Anguas, P. G., & García, E. (2006). *Determinación de la resistencia a la fatiga en mezclas asfálticas*. file:///C:/Users/Dell/Desktop/TESIS DEFINITIVA PARA ENTREGA/ULTIMA CORRECCION/ASFALTOS.pdf file:///C:/Users/Dell/Desktop/TESIS DEFINITIVA PARA ENTREGA/ULTIMA CORRECCION/DURABILIDAD ASFALTO 54.pdf file:///C:/Users/Dell/Desktop/TESIS DEFINITIVA PARA ENTREGA/U.
- Gallart Villamor, F. (2011). *Evaluación en laboratorio de la durabilidad de mezclas bituminosas tipo SMA*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gite, P. B. E., & Soyaj Abjal Amrutvahini, M. M. (2014). *Stone Mastic Asphalt*. Sangamner.
- Gonzalez Minaya, S. (2001). *Manual de Diseño de Pavimentos*. (U. N. de Ingeniería, Ed.). Lima: Facultad de Ingeniería Civil.
- Indian Road Congress. (2008). *Tentative Specifications for Stone Matrix Asphalt*. New Delhi.
- Inkanatural. (2014). Agave: Propiedades y Usos Tradicionales. Retrieved from <http://www.inkanatural.com/es/arti.asp?ref=agave>
- Invías. Especificaciones generales de construcción de carreteras (2002). Colombia.
- Kandhal, P.S. “Ken”, Lee, Dah Yinn & Lee, K., W. (1996). Significance of Tests for Highway Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1, 22–44.




- Kumar, P., Sikdar, P. K., Bose, S., & Chandra, S. (2004). *Use of Jute Fibre in Stone Matrix Asphalt. Road Materials and Pavement Design* (Vol. 5). <https://doi.org/10.1080/14680629.2004.9689971>
- Lab. materiales de Construcción. (2001). *Densidad Total (Peso unitario) y vacíos en agregados para concreto*. San Salvador.
- Lanchas, S. (2010). Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo. *Asfalto Y Pavimentación*, 1, 33–42.
- Longou fibers. (2017). Longou Cellulose Fiber for SMA. Retrieved from [https://www.alibaba.com/product-detail/Bitumen-Cellulose-Fiber-for-Stone-Mastic\\_60295325307.html?spm=a2700.7724838.2017115.11.6920903anVhgl1](https://www.alibaba.com/product-detail/Bitumen-Cellulose-Fiber-for-Stone-Mastic_60295325307.html?spm=a2700.7724838.2017115.11.6920903anVhgl1)
- Minnesota Department of Transportation. (2005). *Stone Matrix Asphalt (SMA) Specifications*. St. Paul.
- MTOP. (2002). *Especificaciones para la construcción de puentes y caminos MTOP - 001-F 2002*. Quito.
- NAPA. (2002). Designing and Constructing SMA Mixtures. State of Practice. In N. A. P. Association (Ed.) (1st ed., p. 47). Lanham, Maryland, USA.
- NLT-159/86. (1986). Norma Española, Ensayo Marshall.
- Prowell, B. D., & Hurley, G. C. (2010). Evaluation of Stone Matrix Asphalt (Sma) for Airfield Pavements, (February), 16. Retrieved from Pro
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, Dah-Yinn, K. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, 2nd Edition*. Lanham, Maryland, USA.
- Sanchez Sabogal, F. (2005). Curso básico de diseño de pavimentos (p. 54).
- Sarang, G. (2015). Laboratory performance of stone matrix asphalt mixtures with two aggregate gradations. *Journal of Modern Transportation*, 1, 7.
- Woodside, A.R., Woodward, W.D.H., and Akbulut, H. (1998). Stone Mastic Asphalt – Assessing the Effect of Cellulose Fibre Additives. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Municipal Engineering*, 127, 103–108.
- Zuñiga Calderon, R. (2008). *Estudio y evaluación preliminar de la mezcla Stone Mastic Asphalt (SMA)*. Santiago. Retrieved from [http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/Documents/investigacion/inv10\\_StoneMasticAsphalt.pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/Documents/investigacion/inv10_StoneMasticAsphalt.pdf)



# ANEXO 1



 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD <b>REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS</b>		FECHA DE EMISIÓN: 2016-06-07 NÚMERO REPORTE: CÓDIGO MUESTRA: ECC-16-1060 REFERENCIA: PT #106					
<b>DATOS DEL CLIENTE</b> NOMBRE: ING. ANTONIO MORALES (INTENDENTE DE OPERACIONES) DIRECCIÓN Y TELÉFONO: KM 7 1/2 VÍA ATACAMES - 220600 EXT. 85824 SOLICITADO POR: ING. REVINIO PACHECO, JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN		<b>MUESTRA:</b> <b>CEMENTO ASFÁLTICO GRADO DE VISCOSIDAD AC-20</b> NORMA: INEN 2515 Enmienda 1					
<b>ORIGEN MUESTRA:</b> A0-V17		<b>DATOS DEL ANÁLISIS:</b>					
LUGAR DE TOMA: SETRIA	FECHA Y HORA RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2016-06-07 / 07:30	FECHA Y HORA INICIAL ANÁLISIS: 2016-06-07 / 07:30	FECHA Y HORA FINAL ANÁLISIS: 2016-06-07 / 11:10				
PUNTO DE MUESTREO: AFORO DEL TANQUE	TEMPERATURA: 23.5 °C	HUMEDAD: 74.2 %RH	PRESIÓN: 100.9 kPa				
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 07:30							
CANTIDAD: 2250 ml.							
REQUISITOS	UNIDAD	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	INCERTIDUMBRE		
		ASTM	INEN	MÍN.	MÁX.		
Viscosidad absoluta, 60 °C* (ASTM D102-1-22)	Pas	2171	-	200 ± 40	200 ± 40	166	± 11 %
Viscosidad cinemática, 135 °C* (ASTM D102-1-22)	mm²/s	2170	640	300	-	327	± 17 %
Punto de inflexión* (ASTM D102-1-22)	°C	52	505	232	-	23.5	± 4 °C
% Solubilidad en Tricloroetileno*	%	2242	515	300	-		
Gravedad específica, 25/25 °C*		70		REPORTE	REPORTE		
Índice de penetración*	-	5		-1.5 ± 1	-1.5 ± 1	-1.3	
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio*							
Viscosidad, 60 °C*	Pas	2171	-	-	520	524	N/A
Cambio de masa*	%P	2002	-	-	10	-0.23	
Ductilidad 25 °C, 5 cm/min*	cm	113	915	50	-	53	
Punto de ablandamiento*	°C	36	320	-	-	46	
Penetración, 25 °C, 100 g, 5s (ASTM D5-1-70)	mm	5	915	50	-	70	± 4 mm
Gravedad API, 15.5 °C (ASTM D155-1-04)	-	1259	-	REPORTE	REPORTE	7.5	N/A
Gravedad específica, 15.5/15.5 °C	-	1259	-	REPORTE	REPORTE	1.0130	
<b>API OBSERVADO:</b> 14.710/922							
Información sobre condiciones específicas de los métodos de ensayo (opcional)							
Observaciones generales							
				Técnico Líder de Control de Calidad:			
				Supervisor de Control de Calidad:			
				Especialista Control de Calidad (Hidrocarburos / Agua-Análisis):			

NOTA: Los resultados se archivan únicamente a los efectos de control de calidad.

Este documento deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Departamento de Laboratorio y Control de Calidad.

\*Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. DALE C 12-002 2013-04-04

\*Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

DIRECCIÓN: KM 7 1/2 VÍA ATACAMES - TELÉFONO: 062506000 - EXT. 80062 - Apartado 206 - Esmeraldas Ecuador



# ANEXO 2





¡Cerca de Vos!

## EMPRESA PÚBLICA DE ÁRIDOS Y ASFALTOS, ASFALTAR E.P.

### CERTIFICA:

Haber proporcionado al Ing. Paúl López Avilés, los siguientes materiales de construcción vial:

- 20lts. De Asfalto AC-20.
- y 100 kg aproximadamente de filler mineral, obtenido de los procesos de trituración de la Planta de la empresa

Todo esto para la elaboración de briquetas.

Adicionalmente se ha entregado datos como asesoría en producción de asfalto, datos técnicos de AC-20, análisis de precios unitarios y fórmulas maestras con el objetivo de brindar información para la elaboración de la tesis de maestría del Ingeniero López.

Cuenca, 14 de junio de 2017

Atentamente,

Ing. Franklin Vintimilla Z.  
GERENTE COMERCIAL DE ASFALTAR E.P.

Oficina Cuenca: Av Max Uhle y Eduardo Ceballos García  
Teléfonos: 2867 931 / 2866 263

facebook.com/AsfaltarEP @AsfaltarEP



**RINOMAQ**  
CONSTRUCCIONES S.A

[www.rinomaq.com](http://www.rinomaq.com)

Urbanización La Gran Vittoria  
Km. 14.6 Vía La Puntilla - Salitre  
Plaza Comercial Local 2-7  
Teléfonos: (593-4) 5000-190/191  
187/196  
Guayaquil - Ecuador

## RINOMAQ CONSTRUCCIONES S.A.

### CERTIFICA:

Haber proporcionado al Ing. Paúl López Avilés, los siguientes materiales de construcción vial:

- 150kg de material granular de tamaño  $\frac{3}{4}$ ", producido en Girón con piedra proveniente de minas de la Empresa ubicada en Cochancay.

Todo esto para la elaboración de briquetas de asfalto con fines didácticos según la solicitud del Ingeniero López.

Cuenca, 20 de junio de 2017

Atentamente,

Ing. Abel Hidalgo  
SUPERINTENDENTE DE OBRA  
COMPAÑÍA RINOMAQ CONSTRUCCIONES S.A



# ANEXO 3



**Ing. Rodrigo Pesantez Larriva, Msc**  
**LABORATORIO SUELOTEC S.A.**

**CERTIFICA:**

Que el Ingeniero Paúl Romeo López Avilés, con C.I. 010411621-5, realizó prácticas de laboratorio en SUELOTEC S.A. Durante los meses de mayo, junio y julio de 2017. Dichas prácticas de laboratorio consistieron en:

- Caracterización de áridos.
- Granulometrías.
- Elaboración de 57 briquetas asfálticas con distintas dosificaciones de asfalto, granulometría e inclusión de fibras de celulosa provenientes del yute de agave.
- Ensayos Marshall de las 57 briquetas.

El objetivo de dichas prácticas es la obtención de datos para la elaboración de la tesis: "DESARROLLAR UNA PROPUESTA DE DISEÑO PARA INCREMENTAR LA DURABILIDAD DE LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS EN LA REGIÓN UTILIZANDO EL METODO SMA (STONE MASTIC ASPHALT), ELABORÁNDOLOS EN BASE A MATERIALES LOCALES", dentro de la MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, TERCERA COHORTE, de la Universidad de Cuenca.

En mi calidad de Gerente del Laboratorio SUELOTEC S.A. Certifico que los resultados en los ensayos a los que se sometieron los materiales y especímenes elaborados bajo los criterios de dicha tesis son los reales, personalmente asistí al Ingeniero López durante el desarrollo de las prácticas por lo que puedo legitimar los resultados obtenidos.

Atentamente,

  
Ing. Rodrigo Pesantez Larriva, Msc  
GERENTE GENERAL DE SUELOTEC S.A.

**SUELOTEC**  
ASESORIA EN INGENIERIA CIVIL  
TELFs: 0987 204-385 / 0984 858-274

ING. RODRIGO PESANTEZ L.  
Master en Geología y Geotecnia  
SENESCYT  
1007-2016-1756770

**TEC**  
ASESORIA EN INGENIERIA CIVIL  
Calle 11, P.O. Box 11000, 1-75 y 1-76 de la ciudad de Cuenca  
Tel. 0987 204-385 / 0984 858-274





## ENSAYOS DE BRIQUETAS SOLICITADAS POR EL Ing. Paul Lopez

**DESARROLLAR UNA PROPUESTA DE DISEÑO PARA INCREMENTAR LA DURABILIDAD DE LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS EN LA REGIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO SMA (STONE MASTIC ASPHALT), ELABORÁNDOLOS EN BASE A MATERIALES LOCALES**

No MUESTRA	PESO DE MUESTRA			AGUA	VOLUMEN	DENSIDAD	RICE	ESTABILIDAD			FLUJO	
	% ASFALTO	Aire Seco	Aire SSS		cc	BULK Briq.		VACIOS	Dial	F.C.		Libras
GRANULOMETRIA 1 SIN FIBRA												
1	6%	1091.0	1105.0	630.2	474.8	2297.8	2539	9.50%	150	1.00	1446	23
2	6%	1136.0	1150.0	655.5	494.5	2297.3	2538	9.49%	120	1.09	1154	25
3	6%	1012.0	1029.0	588.0	441.0	2294.8	2533	9.40%	130	1.32	1252	24
19	6.5%	989.00	991.0	574.5	416.5	2374.5	2570	7.61%	195	1.47	1883	26
20	6.5%	983.0	985.0	568.5	416.5	2360.1	2567	8.06%	185	1.47	1786	26
21	6.5%	1068.0	1072.0	610.0	462.0	2311.7	2565	9.88%	180	1.19	1737	27
37	7%	1117.0	1118.0	647.0	471.0	2371.5	2547	6.89%	175	1.14	1688	29
38	7%	1079.0	1080.0	624.5	455.5	2368.8	2551	7.14%	180	1.25	1737	28
39	7%	1204.0	1204.0	692.5	511.5	2353.9	2553	7.80%	170	1.00	1640	27
GRANULOMETRIA 1 CON FIBRA												
10	6%	1127.0	1127.0	646.5	480.5	2345.5	2539	7.62%	280	1.14	2708	15
11	6%	1151.0	1151.0	657.5	493.5	2332.3	2539	8.14%	275	1.09	2659	14
12	6%	1004.0	1005.0	574.5	430.5	2332.2	2538	8.11%	280	1.39	2708	15
28	6.5%	1110.0	1064.0	589.9	474.1	2341.3	2570	8.90%	315	1.19	3048	16
29	6.5%	1160.0	1162.0	665.3	496.7	2335.4	2568	9.06%	310	1.04	2999	17
30	6.5%	1156.0	1158.0	662.0	496.0	2330.6	2560	8.96%	315	1.67	3048	17
46	7%	1034.0	1034.0	591.0	443.0	2334.1	2550	8.47%	290	1.32	2805	18
47	7%	1111.0	1111.0	629.0	482.0	2305.0	2540	9.25%	295	1.14	2854	19
48	7%	1133.0	1133.0	645.5	487.5	2324.1	2538	8.43%	280	1.09	2708	20
GRANULOMETRIA 2 SIN FIBRA												
4	6%	1081.0	1082.0	627.5	454.5	2378.4	2540	6.36%	225	1.25	2174	19.0
5	6%	1090.2	1092.0	619.2	472.8	2305.8	2528	8.79%	210	1.47	2028	17.0
6	6%	1126.0	1127.0	679.0	448.0	2513.4	2710	7.25%	235	1.39	2271	20.5
22	6.5%	1150.0	1152.0	674.0	478.0	2405.9	2592	7.18%	205	0.83	1980	24.0
23	6.5%	1144.0	1148.0	650.0	498.0	2297.2	2445	6.05%	185	1.04	1786	22.0
24	6.5%	1154.0	1156.0	631.2	524.8	2198.9	2389	7.96%	215	1.04	2077	22.5
40	7%	1096.0	1096.0	624.0	472.0	2322.0	2479	6.33%	175	1.14	1688	24.0
41	7%	1147.0	1147.0	645.0	502.0	2284.9	2478	7.79%	170	1.04	1640	23.0
42	7%	1134.0	1139.0	649.0	490.0	2314.3	2479	6.64%	180	1.09	1737	23.5
GRANULOMETRIA 2 CON FIBRA												
13	6%	1130.0	1152.0	636.0	516.0	2189.9	2410	9.13%	130	1.00	1252	22.5
14	6%	1033.0	1053.0	582.5	470.5	2195.5	2390	8.14%	135	1.19	1300	22.0
15	6%	973.0	993.0	551.0	442.0	2201.4	2374	7.27%	145	1.32	1397	22.0
31	6.5%	1044.0	1054.0	576.5	477.5	2186.4	2350	6.96%	145	1.14	1397	23.5
32	6.5%	1150.0	1161.0	642.5	518.5	2217.9	2358	5.94%	160	1.00	1543	23.5
33	6.5%	979.0	989.0	552.0	437.0	2240.3	2397	6.54%	140	1.32	1349	24.0
49	7%	1142.0	1146.0	630.0	516.0	2213.2	2356	6.06%	165	1.00	1591	24.5
50	7%	1020.0	1025.0	562.5	462.5	2205.4	2340	5.75%	160	1.19	1543	24.5
51	7%	1123.0	1127.0	626.5	500.5	2243.8	2370	5.33%	150	1.04	1446	25.0
GRANULOMETRIA 3 SIN FIBRA												
7	6%	1010.0	1012.0	576.5	435.5	2319.2	2410	3.77%	170	1.32	1640	16.5
8	6%	1114.0	1116.0	627.5	488.5	2280.5	2390	4.58%	180	1.09	1737	17.0
9	6%	1045.0	1048.0	566.5	481.5	2170.3	2368	8.35%	180	1.14	1737	16.5
25	6.5%	1093.0	1094.0	621.5	472.5	2313.2	2420	4.41%	190	1.14	1834	17.0
26	6.5%	1090.0	1092.0	611.5	480.5	2268.5	2402	5.56%	185	1.14	1786	18.0
27	6.5%	1118.0	1121.0	623.5	497.5	2247.2	2350	4.37%	180	1.04	1737	18.0
43	7%	990.0	1004.0	548.5	455.5	2173.4	2320	6.32%	170	1.25	1640	18.5
44	7%	978.0	988.0	538.5	449.5	2175.8	2333	6.74%	165	1.25	1591	19.0
45	7%	1037.0	1048.0	572.5	475.5	2180.9	2345	7.00%	160	1.14	1543	19.5
GRANULOMETRIA 3 CON FIBRA												
16	6%	1088.0	1097.0	609.5	487.5	2231.8	2410	7.39%	130	1.09	1252	17.0
17	6%	1100.0	1119.0	618.5	500.5	2197.8	2440	9.93%	115	1.00	1106	18.0
18	6%	1041.0	1051.0	585.5	465.5	2236.3	2438	8.27%	120	1.14	1154	17.0
34	6.5%	980.0	999.0	556.0	443.0	2212.2	2395	7.63%	125	1.19	1203	18.0
35	6.5%	979.0	994.0	555.0	439.0	2230.1	2380	6.30%	115	1.25	1106	18.0
36	6.5%	1011.0	1026.0	569.0	457.0	2212.3	2360	6.26%	130	1.19	1252	19.0
52	7%	917.0	945.0	535.5	409.5	2239.3	2350	4.71%	105	1.32	1009	19.5
53	7%	1006.0	1032.0	582.5	449.5	2238.0	2350	4.76%	115	1.14	1106	19.0
54	7%	817.0	835.0	470.0	365.0	2238.4	2335	4.14%	110	1.67	1057	21.0
GRANULOMETRIA 1 CON FIBRA 0,35%												
55	6.57%	1146.0	1107.0	652.0	455.0	2450.0	2595	5.59%	330	1.18	3193	15.0
56	6.57%	1128.5	1125.0	648.0	477.0	2365.8	2585	8.48%	325	1.14	3145	16.0
57	6.57%	1140.0	1128.0	665.0	463.0	2462.2	2574	4.34%	330	1.16	3193	15.0
GRANULOMETRIA 1 CON FIBRA 0,4%												
	6.57%	1021.0	1020.0	585.0	435.0	2347.1	2540	7.59%	270	1.16	2611	15.0
	6.57%	1089.0	1092.0	590.0	502.0	2169.3	2400	9.61%	275	1.16	2659	15.0





# ANEXO 4

**EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP**Punto Rectoría - asfaltos\_ingenieria@hotmail.com - ingenieria@asfaltarep.gob.ec  
Teléfono (593) 7 2556263**LABORATORIO DE ASFALTOS**

PROYECTO: VARIOS

PLANTA ASFALTICA: Empresa Pública de Aridos y Asfaltos del Azuay ASFALTAR EP

SOLICITA: FISCALIZACIÓN GPA

FECHA: 29 de junio de 2017

**RESUMEN DISEÑO DE HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLA ASFALTICA CALIENTE  
METODO MARSHALL**

DESCRIPCION	PESO ESPECIFICO NETO	PESO ESPECIFICO APARENTE	NORMA AASHTO	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA	
				DOSEIFICACION AGREGADOS	OBSERVACION
MATERIAL TRITURADO 3/4"	2.589	2.709	T-85	25%	- Aditivo utilizado Zycotechem (mejora la adherencia) - Doseificación: 3.055% en peso del asfalto. - Temperatura mezcla en planta: 145 - 150° C. - Esta doseificación si es necesario será reajustada en planta al momento de su producción.
MATERIAL TRITURADO 3/8"	2.550	2.736	T-85	10%	
MATERIAL TRITURADO 3/16"	2.539	2.702	T-84	50%	
ARENA 210	2.573	2.697	T-84	15%	
CEMENTO ASFALTICO AC-20 (aditivo)	1.017		T-225	6.8% En peso total de la Agregado.	

CRITERIOS MARSHALL	NORMA MOP TRAFICO PESADO	% OPTIMO AC-20
ESTABILIDAD (Libras)	> 1900	2750
FLUJO (Pulgada/100)	8-14	13.6
% ASFALTO EFECTIVO		5.1
RELACION FILLER / BETUN	0.80 - 1.20	1.18
% VACIOS	3-5	4.90
V.L.A	65-75	75
V.A.M (Mínimo)	10%	16.1%

GRAVEDADES ESPECIFICAS	
GRAVEDAD AC-20	1.27
GRAVEDAD MAXIMA MEZCLA Grms	2.41
GRAVEDAD FULL Grs	2.56
GRAVEDAD EFECTIVA Grs	2.64
GRAVEDAD APARENTE Grs	2.71

  
 Ing. Romeo López V.  
 RESPONSABLE DE PRODUCCION  
 ASFALTAR EP

**EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP**Planta Rayo ama - asphaltar.ep, ingenieria@hotmail.com - ingenieria2@asphaltar.ep.gob.ec  
Teléfono (593) 7 2866263**LABORATORIO DE ASFALTOS**

PROYECTO: VARIOS

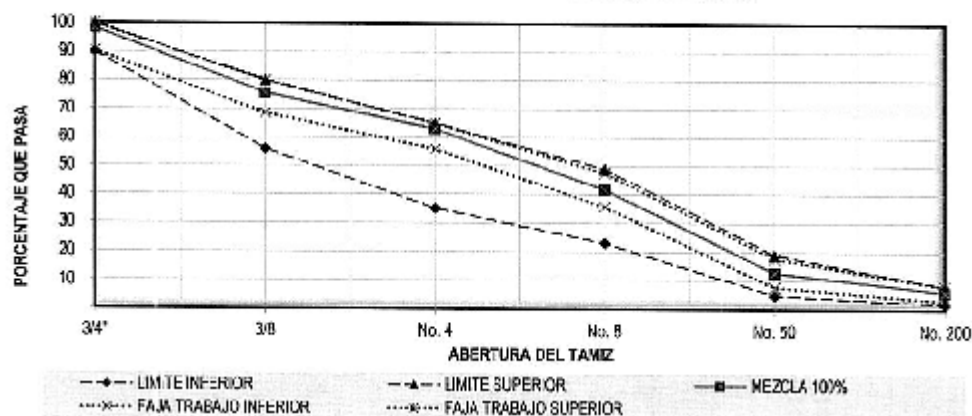
PLANTA ASFALTICA: Empresa Pública de Aridos y Asfaltos del Azuay ASFALTAR EP

SOLICITA: PISCALIZACION GPA

FECHA: 29 de junio de 2017

**MEZCLA DE ARIDOS**

ABERTURA TAMIZ	PORCENTAJES EN PESO QUE PASA LOS TAMICES				MEZCLA 100%	ESPECIFICACION FAJA 3/4' TABLA 405-5.1			
	25.0%	10%	50.0%	15.0%		LIMITE INFERIOR			LIMITE SUPERIOR
	MATERIAL TRITURADO 3/4	MATERIAL TRITURADO 3/8	MATERIAL TRITURADO 3/16	ARENA RIO					
3/4"	93.35	100.00	100.00	100.00	98.34	90	-	100	
3/8"	4.13	95.02	100.00	100.00	75.53	56	-	80	
No. 4	0.46	12.95	94.67	94.64	62.94	35	-	65	
No. 8	0.00	3.79	63.42	63.95	41.68	23	-	47	
No. 50	0.00	0.00	19.59	19.94	12.78	5	-	17	
No. 200	0.00	0.00	10.98	3.65	6.02	2	-	8	

**CURVA GRANULOMETRICA DE LA MEZCLA DE ARIDOS**

Ing. Xavier López V.  
RESPONSABLE DE PRODUCCION  
ASFALTAR EP



## EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP

Ruta Roayama - asfaltarp@ingenieriaonline.com - ingenieria@asfaltarp.gub.ec  
Teléfono (593) 7 366263



## LABORATORIO DE ASFALTOS

MATERIAL:	TRITURADO 3/8
PROYECTO:	VARIOS
SOJICIA:	REGALACION- GPA
FECHA MUESTREO:	19 de junio de 2017
FECHA ENSAYO:	27 de junio de 2017

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ASTM C-136				
TAMIZ No.	P. RETENIDOS PARCIALES [gr.]	P. RETENIDOS ACUMULADOS [gr.]	% RETENIDOS ACUMULADOS [gr.]	% QUE PASA [gr.]
3/4	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	21.00	21.00	0.16	99.84
3/8	636.00	636.00	4.99	95.02
No.4	10,485.00	11,121.00	87.80	12.20
No.8	1,171.00	12,292.00	96.21	3.79
No.50	0.00	12,672.00	98.75	0.25
No.200	0.00	0.00	0.00	0.00
PASA 200	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	12,776.00			

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - ASTM C 128 - AASHTO T-84				
DATOS		RESULTADOS		
A=P. Material S.S. [gr.]	3,000.00	P. Esp. Neta (% de)	D/(C+A-B)=	
B=P. Rec. + Agua 1 Mall [gr.]	7,066.00	P. Esp. SSS	A/(C+A-B)=	
C=Peso Rec. + Agua [gr.]	5,212.00	P. Específico Aparente	D/(D+C-B)=	
D= Peso Material Seco [gr.]	2,922.00	% de Absorción	A-D/(D-C)=	

ENSAYO DE PARTICULAS ANGULARES (TRITURADAS) - ASTM D5021						
MUESTRA PASANTE Y RETENIDA	Peso Total gr.	Partic. Fracturada (f)	Partic. Cuasfenólicas (u)	Part. No fracturadas (n)	% Angularidad (R <sub>400</sub> / (R <sub>400</sub> + f))	Especificación
Pasante tamiz 1/2 retenida en #4	250.00	243.91	12.75	3.00	96.03	>= 80.0 %

ENSAYO PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS - ASTM D4791						
MUESTRA PASANTE Y RETENIDA	Peso inicial gr.	Peso alargadas gr.	Peso planas gr.	Peso planas aceptables gr.	% partículas aceptables	% partículas planas, < 5
PASANTE TAMIZ DE 1/2"	500.00	19.84	35.60	13.66	96.72%	3.28%
RETENIDO TAMIZ #4		0.04	0.07	0.03		
PASANTE TAMIZ DE 1/2"	500.00	11.56	24.79	7.83	97.83%	2.17%
RETENIDO TAMIZ #4		0.02	0.05	0.02		

ENSAYO DE DELETERIOS Norma ASTM C142				ENSAYO PESO VOLUMÉTRICO			
Peso Total	Peso Inicial	Peso material lavado y secado (gm)	% Deletema	PESO RECIPIENTE gr.	3,543.00	VOLUMEN RECIPIENTE CC	2,720.20
grs.	grs.			PESO MATERIAL+ RECIPIENTE SUELTO	PESO MATERIAL	PESO MATERIAL+ RECIPIENTE VARIADO	PESO MATERIAL
PASANTE DE 1/2" RETENIDO EN #4	1,500.00	Referido en tamiz #8	0.67%	7,561.00	4,018.00	9,100.00	4,597.00
Peso min. 2000grs		1,490.00		7,591.00	4,048.00	9,056.00	4,553.00
PASANTE DE 1/2" RETENIDO EN #4	1,500.00	Referido en tamiz #8	0.53%	7,538.00	3,995.00	9,061.00	4,538.00
Peso min. 1000grs		1,486.00		DENSIDAD SUELTA	1.38	DENSIDAD VARIADA	1.86

## OBSERVACIONES:

  
EDISON MAXI  
LABORATORISTA ASFALTAR EP



## EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP

Santa Roca - azuay@asfaltar.com.ec - ingenieria@asfaltar.com.ec  
Teléfono: (591) 7 266633

## LABORATORIO DE ASFALTOS

MATERIAL:	TRITURADO 3/4
PROYECTO:	VARIOS
EDIFICIO:	RECONSTRUCCION GFA
FECHA MUESTREO:	19 de junio de 2017
FECHA ENSAYO:	21 de junio de 2017

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ASTM C-136				
TAMIZ No.	P. RETENIDOS PARCIALES (gr.)	P. RETENIDOS ACUMULADOS (gr.)	% RETENIDOS ACUMULADOS (gr.)	% QUE PASA (gr.)
3/4	942.00	942.00	6.65	93.35
1/2	10,509.00	11,451.00	80.82	19.18
3/8	2,189.00	13,640.00	96.87	3.13
No.4	520.00	14,160.00	99.54	0.46
No.8	0.00	0.00	0.00	0.00
PASA 200				
TOTAL	14,160.00			

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - ASTM C 128 - AASHTO T-84				
DATOS		RESULTADOS		
W = Masa de S.S.S. (gr.)	4,000.00	P. Esp. Neto (Bulk)	$D(XC+A-B)/W$	2.589
P = P. Rem. + Agua + Ma (gr.)	7,673.00	P. Esp. SSS	$A(XC+A-B)/P$	2.633
C = Peso Pien. + Agua (gr.)	5,212.00	P. Especifico Aparente	$D(XC+C-B)/W$	2.709
D = Peso Material Seco (gr.)	3,943.00	% de Absorción	$A-D/XC*100$	1.70%

ENSAYO DE PARTICULAS ANGULARES (TRITURADAS) - ASTM D5621						
MUESTRA PASANTE Y RETENIDA	Peso total gr.	Peso. Fraccionada (g)	Partic. Cuantificables (g)	Part. No Fractuadas (N)	% Angularidad $(N/(N+P))100$	Especificación
PASANTE 1/4 RET 1/2	1,000.21	854.28	140.51	22.68	90.14%	>= 90.0 %
PASANTE 1/2 RET 4	600.06	539.27	48.47	12.34	93.90%	>= 90.0 %

ENSAYO PARTICULAS ALARGADAS Y AFLANADAS - ASTM D4791						
MUESTRA PASANTE Y RETENIDA	Peso inicial gr.	Peso alargadas gr.	Peso aplanadas gr.	Peso aplanadas aplanadas gr.	% partículas aceptables	% partículas Rehus. < 8
PASANTE 3/4 RET 1/2 (Quelco)	1,824.00	276.24	81.15	152.75	75.20%	4.80%
		0.17	0.26	0.09		
PASANTE 1/2 RET 3/8 (Quelco)	1,500.00	104.02	60.91	96.72	74.51%	3.49%
		0.07	0.04	0.06		

ENSAYO DE DELETEREO Norma ASTM C142				ENSAYO PESO VOLUMETRICO			
MUESTRA PASANTE Y RETENIDA	Peso inicial gr.	Peso material lavado y secado (gm)	% Deletereo	PESO RECIPIENTE Kg	1.35	VOLUMEN RECIPIENTE LB.	4.93
PASANTE 1/4 RET 1/2 peso mínimo 2000gms	3,500.00	retenido en tamiz 3,457.00	0.94%	PESO MATERIAL + RECIPIENTE SUELTO	PESO MATERIAL	PESO MATERIAL + RECIPIENTE VARIADO	PESO MATERIAL
				9.54	8.22	10.18	8.77
PASANTE 1/2 RET 4 peso mínimo 1000gms	1,500.00	retenido en tamiz 1,456.00	0.67%		9.63	8.25	10.16
					9.65	8.3	10.12
				DENSIDAD SUELTA	1.68	DENSIDAD VARIADA	1.77

## OBSERVACIONES:

EDISON MAXI  
LABORATORISTA ASFALTAR EP





## EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP

Fla no Poyolcano • cabilaspe\_ingenieria@telefonos.com • ingenieria2020@telefonos.com  
Teléfono (593) 7 2665263



## LABORATORIO DE ASFALTOS

MATERIAL: POLVO 3/16  
PROYECTO: VARIOS

FECHA DE MUESTREO: 19 de junio de 2017  
FECHA DE ENSAYOS: 27 de junio de 2017  
ENSAYADO POR: EDISON MAXI

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C 136 - AASHTO T27

TAMIZ Nº	P. RETENIDO PARCIAL [kg]	P. RETENIDO ACUMULADO O [kg] (2)	% RETENIDO (3)=[100/(1)+(2)]	% PASANTE (4)=[100-(3)]
1/2"	2.0	0.0	0.00	100.00
3/8"	2.0	0.0	0.00	100.00
Nº4	53.3	53.3	5.33	94.67
Nº8	312.6	365.85	36.59	63.41
Nº30	347.5	713.3	71.33	28.67
Nº60	50.8	804.1	80.41	19.59
Nº100	54.9	859.0	85.90	14.10
Nº200	31.2	890.2	89.02	10.98
PASA 200	109.8	109.8	10.98	
TOTAL (1)	1300			

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - ASTM C 128 - AASHTO T-84

DATOS	RESULTADOS
A=P. Material S.S. [gr.]	500.0 P. Esp. Neto (BULK)
B=P. Pien.+Agua+Mat[gr.]	949.6 P. Esp. (SS)
C= Peso Pien.+Agua [gr.]	662.0 P. Especifico Aparente
D= Peso Material Seco [gr.]	488.4 % de Absorción

## ENSAYOS EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D 2419 - AASHTO T-176

No	lectura arcilla [cm]	lect. pison mela. [cm]	lectura arena [cm]	C. arcilla [pulg]	C. arena [pulg]	Equivalente Arena %
1	17.9	34.9	9.6	7.05	3.78	54%
2	17.8	35	9.7	7.01	3.82	54%
3	17.5	34.8	9.5	6.89	3.71	51%
Españelación: >= 50 %				EQUIVAL. ARENA		54%

## PERDIDA POR LAVADO TAMIZ 200 ASTM D 1140-00

Peso inicial	500	Peso final lavado	478.34	Perdida por lavado	4.53%
--------------	-----	-------------------	--------	--------------------	-------

EDISON MAXI  
LABORATORISTA ASFALTAR EP

## ENSAYO DELETEREOS ASTM C 142 - AASHTO T 112

PESO INICIAL	PESO MUESTRA ENSAYADA	PERDIDA POR LAVADO	% DELETEREOS
Pasante Tamiz #3/8 - Retenido Tamiz #16 [gr.]	500	455.3	0.95%
Pasante Tamiz #30 - Retenido Tamiz #200 [gr.]	300	298.69	0.44%

## LÍMITE LÍQUIDO ASTM D 4318

No. Tarro	No. Golpes	P. Húmedo [gr.]	P. Seco [gr.]	% Humedad	PROMEDIO

## LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318

No. Tarro	No. Golpes	P. Húmedo [gr.]	P. Tarro [gr.]	% Humedad	PROMEDIO

## LÍMITE LÍQUIDO

HUMEDAD %	10	15	20	25	30	35
No. de GOLPES						

LIM. LÍQUIDO	NP	LIM. PLÁSTICO	NP	LIM. LÍQUIDO	NP
--------------	----	---------------	----	--------------	----

## OBSERVACIONES:

PARA EL ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE ESTE MATERIAL, SE PROPONE A UN PRECIO LAVADO POR EL TAMIZ #200

**EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP**

Planta Azuayma - azuayma@telefonos.com - ingenieros2@telefonos.com.ec  
 Teléfono (023) 7 2866243



**MATERIAL: ARENA DE RIO**  
**PROYECTO: VARIOS**

**LABORATORIO DE ASFALTOS**

**FECHA DE MUESTREO:** 19 de junio de 2017  
**FECHA DE ENSAYOS:** 27 de junio de 2017  
**ENSAYADO POR:** EDISON MAXI

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ASTM C 136 - AASHTO 127**

TAMIZ Nº	P. RETENIDO PARCIAL [Kg]	P. RETENIDO ACUMULADO O [Kg] (2)	% RETENIDO (3)=100/(1Y2)	% PASANTE (4) =100-(3)
1/2"	0.0	0.0	0.00	100.00
3/8"	0.0	0.0	0.00	100.00
Nº4	53.6	11.8	5.36	94.64
Nº8	306.9	181.43	36.05	63.95
Nº30	347.4	688.3	70.79	29.21
Nº50	92.8	889.4	90.07	9.93
Nº100	60.7	950.5	96.13	3.87
Nº200	1.0	964.5	98.45	1.55
PASA 200	35.5	35.5	3.55	
TOTAL (1)	1030			

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - ASTM C 128 - AASHTO T-84**

DATOS	RESULTADOS
A=P. Material S.S [gr.]	500.0 [P. Esp. Neta (Bulk)]
B=P. Pien+Agua-Mol[gr.]	1728.7 [P. Esp. SSS]
C= Pien+Agua [gr.]	1419.6 [P. Especifica Apariente]
D= Pien Material Seco [gr.]	491.2 [P. de Absorción]
	A-DUT100= 1.833%

**ENSAYOS EQUIVALENTE DE ARENA - ASTM D 2419 - AASHTO T-176**

No	lectura arena [cm]	lect. pisen mola [cm]	lectura arena [cm]	C. arena [pulg]	Equivalente Arena %
1	13.6	35.1	9.8	5.31	3.16
2	13.2	35.7	7.68	5.43	3.02
3	14.1	35.9	8.4	5.79	3.31
Especificación: >= 50 %					EQUIVAL. ARENA 57%

  
**EDISON MAXI**  
**LABORATORISTA ASFALTAR EP**

**ENSAYO DELETEREOS - ASTM C 142 - AASHTO T112**

PESO INICIAL	PESO MUESTRA ENSAYADA	PERDIDA POR LAVADO	% DELETEREOS
Pesoante Tamiz #30 - Retenido Tamiz #40 [gr.]	500	495.8	0.58%
Pesoante Tamiz #16 - Retenido Tamiz #20 [gr.]	300	296.7	0.02%

**LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D 4318**

No. Taro	No. Golpes	P. Húmedo [gr]	P. Seco [gr]	% Humedad	PROMEDIO

**LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D 4318**

No. Taro	No. Golpes	P. Húmedo [gr]	P. Seco [gr]	% Humedad	PROMEDIO

**LÍMITE LÍQUIDO**

HUMEDAD %	10	15	20	25	30	35

No. de GOLPES

LIM. LÍQUIDO	NP	LIM. PLÁSTICO	NP	LIM. LÍQUIDO	NP

**OBSERVACIONES:**  
 PARA EL ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE ESTE MATERIAL SE PROCEDE A UN PREVIOLAVADO POR EL TAMIZ #200



**EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALIAR EP**

Planta: [repositorio@ufpa.br](mailto:repositorio@ufpa.br) • [ufpa@ufpa.br](mailto:ufpa@ufpa.br) • [repositorio.ufpa.br](http://repositorio.ufpa.br) • [ufpa.br](http://ufpa.br)

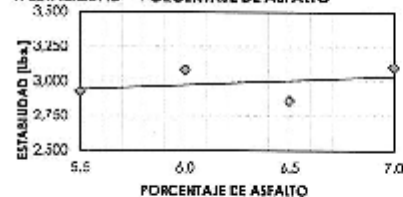
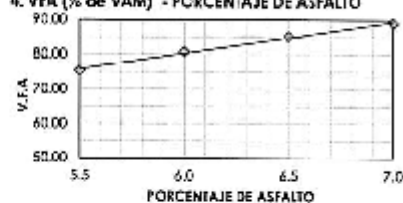
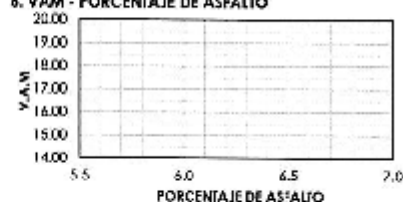
## LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO: VARIOS  
PLANTA ASFALTICA: Empresa Pública de Aídes y Asfaltos del Azuay ASFALTAR EP  
SOLICITA: FISCALIZACION GPA  
FECHA: 29 de junio de 2017

## INFORME · DATOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN POR EL MIL GRUPO PARALELO															ESTABILIDAD		
AGREGADOS		DISTRIB.		P.E. NETO		FESOG		DENSIDAD		PORCHEN. EN VOLUMEN		VIAJ.	% Anál. Electro	VFA	Libra	Libras coning.	1000 pulg.
TAMAZ	% TOTAL	P/E	EN %	P.E. NETO	%	#	Alm. SSS	VOLUMEN	P.E. NETO	RIDE	Agregado						
			NETO		ASFC			cm3	litro.	Modulo							
34	25.00	2.59	33.70			A	1235.0	1235.3	892.3	343.00	2374	A-2002	2146.3	093	2386	8.7	
36	10.00	2.86	6.48			B	1184.6	1184.8	643.5	323.21	2358	B-16.216	2788.4	005	2326	8.3	
316	50.00	2.54	40.39			C	1213.8	1213.1	673.8	325.31	2350	C-11.306	2156.1	093	2326	10.1	
Arriba	100.00	2.51	14.22	2.557	1.265						71.485	21.528		75.385			
Arriba	Arriba	Arriba	Arriba										4.194				
TOTAL	105.5		100.00				PROMEDIO		2307	2.439			PROMEDIO		2860	9.0	
34	25.00	2.53	28.50			A	1145.9	1144.2	655.2	311.15	2281	A-2.000	3050.1	100	3250	11.2	
36	10.00	2.53	5.43			B	1185.3	1183.7	664.1	316.53	2285	B-16.215	2845.1	100	3256	11.1	
316	50.00	2.54	47.17	2.557	1.265	C	1193.6	1193.8	686.0	317.84	2305	C-11.350	3447	100	3247	9.9	
Arriba	100.00	2.51	14.15										PROMEDIO		3031	10.9	
Arriba	Arriba	Arriba	Arriba										PROMEDIO		3031	10.9	
TOTAL	105		100.00				PROMEDIO		2260	2.421							
34	25.00	2.59	22.47			A	1203.8	1204.1	654.4	319.57	2317	A-2.000	2896	100	2559.00	12	
36	10.00	2.85	9.39			B	1204.1	1204.4	676.6	326.60	2280	B-16.216	2600.9	056	2433.36	12	
316	50.00	2.59	49.95	2.557	1.265	C	1174.1	1170.1	686.1	325.44	2315	C-11.305	3003.0	104	3141.75	1.0	
Arriba	100.00	2.57	14.08	2.557	1.265								PROMEDIO		2851	11.2	
Arriba	Arriba	Arriba	Arriba										PROMEDIO		2851	11.2	
TOTAL	105.5		100.00				PROMEDIO		2317	2.407							
34	25.00	2.51	21.36			A	1150.4	1150.3	653.0	301.80	2251	A-2002	3011.30	104	3441.27	14	
36	10.00	2.51	9.45			B	1159.3	1159.5	655.5	304.04	2300	B-16.216	3405.40	104	3372.62	13	
316	50.00	2.54	46.73	2.557	1.265	C	1195.1	1195.3	673.3	323.01	2287	C-11.370	2832.30	056	2715.90	14	
Arriba	100.00	2.57	14.22	2.557	1.265								PROMEDIO		2861.76	13.9	
Arriba	Arriba	Arriba	Arriba										PROMEDIO		2861.76	13.9	
TOTAL	105		100.00				PROMEDIO		2299	2.384							

Ing. Xavier Lopez M.  
RESPONSABLE DE PRODUCCION  
ASAITAR EP

**EMPRESA DE ARIDOS Y ASFALTOS DEL AZUAY ASFALTAR EP**Planta Boyoloma • asphaltar.ep@gmail.com • ingenieria2@asphaltar.ep.gob.ec  
Teléfono (072) 7 2864253**LABORATORIO DE ASFALTOS****PROYECTO:** VARIOS**PLANTA ASFALTICA:** Empresa Pública de Aridos y Asfaltos del Azuay ASFALTAR EP**SOLICITA:** FISCALIZACIÓN GPA**FECHA:** 29 de junio de 2017**CURVAS DE PROPIEDADES DE PRUEBA PARA DATOS DE DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE SEGÚN EL MÉTODO****1. ESTABILIDAD - PORCENTAJE DE ASFALTO****2. PESO ESP. NETO - PORCENTAJE DE ASFALTO****3. FLUJO - PORCENTAJE DE ASFALTO****4. VFA (% de VAM) - PORCENTAJE DE ASFALTO****5. % VACIOS - PORCENTAJE DE ASFALTO****6. VAM - PORCENTAJE DE ASFALTO****7. PORCENTAJE OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO**

GRFICA	% ASFALTO	OBSERVACIONES
1	5.50 - 7.00	Norma >1800, punto promedio
2	6.50	Peso especifico neto (Bulk) máximo
3	5.6 - 6.90	Norma 8-14.
4	6.00 - 6.70	Norma 65-75
5	6.60	Norma 3-5, punto obligatorio d
6	5.50 - 7.00	Norma mayor a 14
ASUMIDO:	6.60	Cumple con las exigencias Marshall

Ing. Xayá Napari  
RESPONSABLE DE PRODUCCION  
ASFALTAR EP